Document public

Risques liés aux ouvrages souterrains. Détermination d'une échelle de dommages

Rapport final

BRGM/RP-52634-FR
décembre 2003

DESCHANELS CONSULTANTS

Laego

UNIVERSITÉ DE METZ
U.F.R. sciences humaines et arts

INERIS
INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

GISOS

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'ÉCOLOGIE
ET DU DÉVELOPPEMENT
DURABLE

Document public

Risques liés aux ouvrages souterrains. Détermination d'une échelle de dommages

Rapport final

BRGM/RP-52634-FR
décembre 2003

Étude réalisée dans le cadre du projet de recherche EPR3 du MEDD

C. Arnal, M. Messin (BRGM)
R. Salmon (INERIS)
T. Verdel, G. Zihri (LAEGO)
Avec la collaboration de
J.L. Deschanels (Deschanels Consultants),
V. Dodeler (Laboratoire de psychologie de Metz),
O. Deck (LAEGO),
M. Merad (INERIS)

DESCHANELS CONSULTANTS

Laego

UNIVERSITÉ DE METZ
U.F.R. sciences humaines et arts

INERIS
INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

GISOS

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : Échelle, Dommages, Risque, Cavités souterraines, Évaluation.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Arnal C., Messin M., Salmon R., Verdel T., Zihri G., avec la collaboration de Deschanels J.L., Dodeler V., Deck O., Merad M. (2003) - Risques liés aux ouvrages souterrains. Détermination d'une échelle de dommages. Rapport final. BRGM/RP-52634-FR, 212 p., 45 fig., 79 tabl., 3 ann.

© BRGM, 2003, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Résumé

Ce travail effectué dans le cadre de l'EPR3 « Évaluation et prise en compte des risques technologiques » financé par le MEDD, a été réalisé sous la coordination du BRGM, par le GISOS, associant l'INERIS, le LAEGO (Ecole des Mines de Nancy et Ecole de Géologie), Deschanels Consultants et le Laboratoire de psychologie de Metz.

Il a pour objet la réalisation d'une échelle de dommages dans le contexte des mouvements de terrain liés aux cavités souterraines.

Les motivations de ces travaux de recherche reposent sur le constat que les outils actuellement disponibles permettant de décrire et d'évaluer les dommages sont partiels et, de plus, difficilement utilisables à la fois en période de gestion de crise et de prévention. Ils sont le plus souvent développés pour décrire les dommages aux constructions et les préjudices humains. Les évaluations correspondent à une énumération des dommages physiques (nombre de morts, de blessés, de bâtiments endommagés) ou à une évaluation monétaire. Elles ne permettent pas d'apprécier dans leur globalité les impacts de l'événement, qu'ils soient fonctionnels (coupure de route, fermeture d'une école), sociaux, économiques ou politiques.
.
C'est pourquoi une méthode d'évaluation et de description globale, définissant des standards s'appliquant à l'ensemble des impacts de l'événement a été développée, sous la forme d'une échelle de dommages.

Ces travaux sont réalisés à partir de l'état de l'art des outils d'évaluation et de description de dommages disponibles, et d'une analyse rigoureuse de ce que sont les dommages et les travaux à entreprendre pour les décrire et les évaluer.

L'échelle réalisée est testée sur quatre cas concrets.

L'échelle développée peut être utilisée sous forme détaillée ou synthétique. Détaillée, elle permet de décrire un événement et ses conséquences selon différents critères. Synthétique, elle est simple et lisible, elle permet une analyse rapide d'une situation ainsi que la comparaison de différents événements.

L'évaluation d'un événement selon différents critères permet aux acteurs de la gestion des risques de juger de son impact en fonction de leurs préoccupations, en affectant des poids relatifs aux critères sociaux, économiques, politiques ou environnementaux.

Destinée aux gestionnaires du risque, elle peut être utilisée dans la gestion de l'événement et lors de la mise en place des travaux de prévention. Ainsi, à partir de scénarios, il est possible d'étudier les conséquences d'événements potentiels et d'éclairer la mise en place d'une politique de prévention/protection ou d'établir des cartes de risques.

Dommages		Description factuelle et normalisée	Eval dommages fonctionnels	Impact Financier	Impact Économique	Impact Social	Impact politique	Impact Environnemental
Physiques	Personnes	Texte : nb personnes, affectées de niveau 1 à 4		€				
	Biens	Texte : nb et types de biens affectés, indication du niveau d'endommagement de 1 à 4 pour chaque type de bien		€	Représenté dans les dommages aux fonctions			
	Ressources	Texte : nature et quantité de milieux affectés, indication du niveau d'endommagement de 1 à 4 pour chaque milieu		€				
Fonctionnels	Logement	Texte : description du niveau de dommage fonctionnel (ID), de la durée de ce dommage (D), de l'importance stratégique de la fonction (ISF)	1 à 4	Pas d'évaluation financière, remplacée par les différentes mesures d'impacts		1 à 4	1 à 4	1 à 4
	Transport							
	Approvisionnement							
	Gestion des déchets							
	Production							
	Communication							
	Éducation							
	Gouvernance							
	Culture/Sport/Loisir							
	Sécurité publique							
	Santé							
	Culte							

Tabl. 1 - Présentation de l'échelle détaillée.

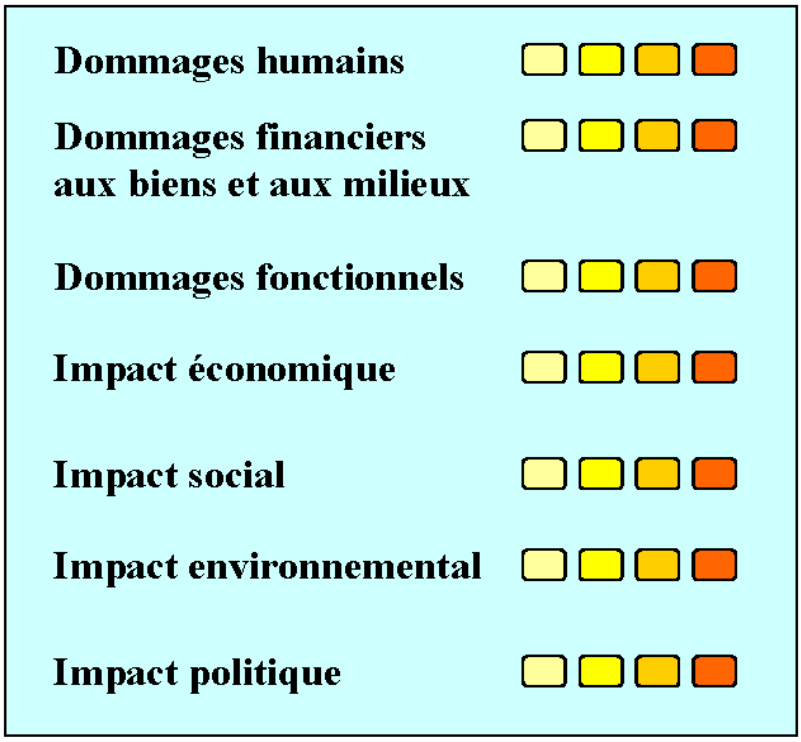


Fig. 1 - Présentation de l'échelle de synthèse.

L'outil semble donc répondre aux besoins d'évaluation, exprimés ou implicites, des gestionnaires des risques liés aux cavités souterraines.

Il doit être à la fois utilisé pour être testé sur le terrain et pour poursuivre les analyses sur les dommages ce qui nécessite des développements ultérieurs.

Abstract

This project was undertaken under the programme for "assessment and policy integration of technological risks" (EPR3) financed by the French Ministry for Ecology and Sustainable Development (MEDD). The BRGM was responsible for coordinating the work, carried out by the GISOS in association with INERIS, the School of Mining and School of Geology in Nancy (LAEGO), Deschanels Consultants and the Laboratory of Psychology in Metz.

The aim of the project was to develop a scale to measure damage resulting from earth movements associated with subterranean cavities.

The project was launched because of concerns over the fact that the tools available to describe and assess damage only partially address the issue and are difficult to use, whether in crisis management situations or for prevention purposes. Most have been developed to describe damage to constructions and harm caused to human populations. Assessments are in the form of lists of physical damage (numbers of people injured and buildings damaged) or monetary evaluations, and cannot be used to assess the overall impact of an event, whether from the functional angle (roads cut off, schools closed, etc.) or in social, economic and political terms.

This is why a method for overall assessments and descriptions, involving the definition of standards that are applied to all the impacts of the event, was developed in the form of a scale of damage.

The research started from a state-of-the-art review of available damage description and assessment tools, with a rigorous analysis of the kinds of damage involved and the work required to describe and assess them.

The scale was tested with four real-life scenarios.

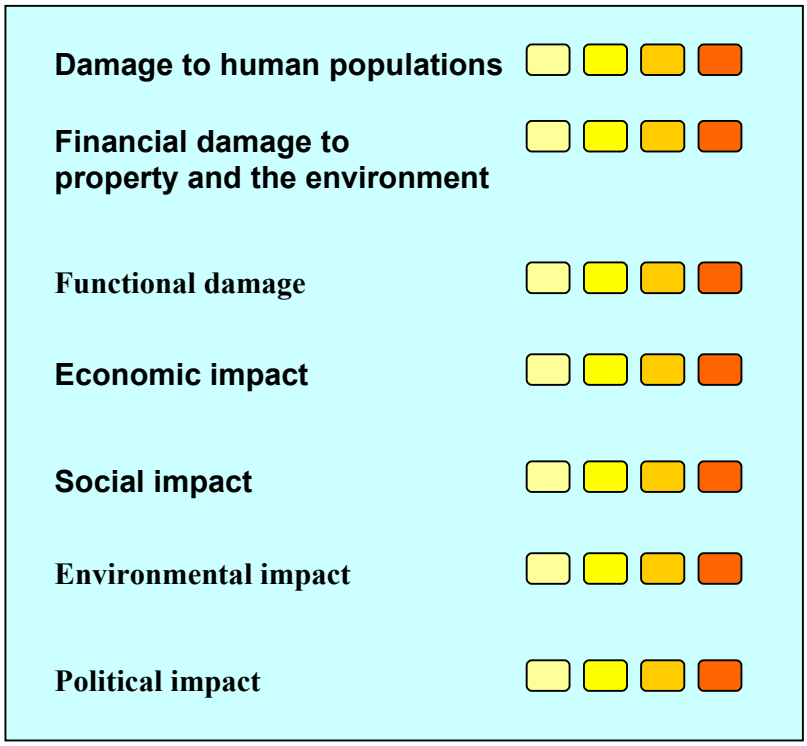
The scale may be used in either detailed or synoptic form. The detailed version produces a description of an event and its consequences based on several different criteria. The synoptic version is simple and easy to read, and allows situations to be analysed quickly and compared with other events.

Using several different criteria to evaluate an event enables those involved in risk management to assess its impact in the light of their particular concerns, through differential weighting of the social, economic, political and environmental criteria used.

The scale is intended for risk managers and may be used both in the management of actual events and in implementing preventive measures. Using scenarios as a basis, it thus becomes possible to analyse the potential consequences of events in order to support the implementation of appropriate prevention and protection policies or draw up risk maps.

Damage			Factual, standardised description	Eval of functional damage	Financial Impact	Economic Impact	Social Impact	Political Impact	Environmental Impact
	Physical damage	People	Text: n° of people affected on a scale of 1 to 4		€				
		Property	Text: n° and types of property affected, indication of the severity of damage on a scale of 1 to 4 for each type of property		€	Represented in functional damage			
		Resources	Text: nature and quantity of environmental damage, indication of the severity of damage in each type of environment on a scale of 1 to 4		€				
	Functional damage	Housing	Text: description of the severity of functional damage (ID), duration of damage (D), and strategic importance of the function affected (ISF)	1 à 4	No financial evaluation: replaced by the various impact measurements.	1 - 4	1 - 4	1 - 4	1 - 4
		Transport							
		Supplies							
		Waste management							
		Production							
		Communication							
		Education	-						
		Governance							
		Culture/Sports/Leisure	-						
		Public safety	-						
		Health	-						
		Places of worship	-						

Detailed version of the scale.



Synoptic version of the scale.

The tool is therefore suited to the evaluation needs, whether explicit or not, of those involved in the management of risks associated with subterranean cavities.

It now needs to be put to use, for on-site testing purposes and also to continue damage analyses, both of which will require further development work.

Synthèse

OBJECTIFS

L'objectif poursuivi dans cette étude est de réaliser une échelle des dommages liés aux mouvements de terrain issus de cavités souterraines, destinée aux gestionnaires du risque, afin qu'ils puissent l'utiliser dans la gestion de l'événement et lors de la mise en place des travaux de prévention.

Cette échelle doit leur permettre d'une part, d'évaluer rapidement les conséquences d'un événement et d'autre part, de comparer des événements entre eux.

Elle doit permettre, à partir de scénarios, d'étudier les conséquences possibles d'événements potentiels et d'éclairer la mise en place d'une politique de prévention/protection ou d'établir des cartes de risques.

Cette évaluation doit pouvoir être faite selon plusieurs points de vue, c'est-à-dire selon celui du responsable de la gestion des risques, mais aussi des maîtres d'ouvrage (aménageurs, industriels, collectivités, etc.).

Cette échelle doit être la plus simple et la plus lisible possible pour pouvoir être comprise par ses différents utilisateurs.

Pour atteindre ces objectifs, les équipes du GISOS (BRGM, INERIS et LAEGO), avec le partenariat de Deschanels Consultants et le Laboratoire de Psychologie de l'Université de Metz ont adopté la démarche suivante :

- l'analyse du contexte actuel de l'évaluation des dommages dans le domaine des risques liés aux cavités souterraines comprenant :
  - . l'étude du contexte de gestion des dommages liés aux cavités souterraines (vocabulaire, les étapes et les acteurs de la gestion du risque ainsi que le contexte réglementaire),
  - . la synthèse de l'expérience des partenaires sur les types de cavités et leurs événements et dommages associés,
  - . une analyse des échelles de dommage utilisées dans le domaine des risques industriels et naturels.
- une proposition pour une échelle de dommages liés aux cavités souterraines s'appuyant sur :
  - · un constat critique des pratiques actuelles et une identification des objectifs à atteindre,
  - · la méthodologie d'établissement de l'échelle, son mode de renseignement et ses conditions et limites d'utilisation,
  - · 4 cas d'étude sur lesquels l'échelle a été employée.

ANALYSE DU CONTEXTE ACTUEL ET DES ÉCHELLES EXISTANTES

Compte tenu du caractère bibliographique de la première partie, nous n'en rapporterons pas le contenu dans la présente synthèse mais les principales conclusions.

Le tableau ci-dessous récapitule les échelles recensées dans le cadre de cette étude :

	Nom de l'échelle*	Date de réalisation	Type d'échelle	Type d'aléa	Évaluation des dommages						Description des dommages	
						Matériels						
					Aux personnes	Infrastructures	Biens	Aux ressources	Aux fonctions		Qualitative	Quantitative
1	Soloviev	1970	E1	Tsunami	X	X	X	X	X		X	
2	Fujita Pearson	1971	E1	Tornade		X		X	X		X	
3	Saffir Simpson	1971	E1	Cyclone		X	X		X		X	
4	Torro	1972	E1	Grêle	X	X		X	X		X	
5	Murty	1986	E1	Tsunami	X	X	X	X	X		X	
6	Échelle d'avalanche canadienne	1990	E1	Avalanche	X	X		X	X		X	
7	BOM	1992	E1	Cyclone		X	X		X		X	
8	INES	1994	E1	Nucléaire	X			X	X	X	X	
9	Guide et Carte de Vigilance Météorologique (METEO-FRANCE, 2001)	2001	E1	Météo	X	X	X	X	X		X	
10	Échelle d'avalanche française	2002	E1	Avalanche	X	X		X	X		X	
11	Torino	2001	E1	Météorite	X	X	X	X	X		X	
12	Damage state	1973	ET	Séisme		X					X	
13	NCB classification of subsidence damages (NCB, 1975)	1975	ET	Mv.T.		X					X	
14	Classification des dégradations (Bruhn et al, 1982)	1982	ET	Mv.T.		X					X	
15	Classification des dégradations (Bhattacharya et al, 1984)	1984	ET	Mv.T.		X					X	
16	Classification des dégradations (Ji-Xian, 1985)	1985	ET	Mv.T.		X					X	
17	Landslide damage scale (Alexander, 1989)	1988	ET	Mv.T.		X					X	
18	Échelle des niveaux d'intensité DPP		ET	Mv.T.		X					X	
19	Classification des dégradations (Pellisier et al, 1992)	1992	ET	Mv.T.		X					X	
20	Endommagement du bâti (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.		X					X	
21	Endommagement des personnes (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.	X						X	
22	Endommagement des réseaux (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.			X				X	
23	Endommagement des fonctions (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.						X	X	
24	Endommagement des surfaces naturelles (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.				X			X	
25	Classification des dégradations (Burland, 1997)	1997	ET	Mv.T.		X					X	
26	HAZUS : Bâti (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme		X					X	
27	HAZUS : Infrastructure (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme			X				X	
28	HAZUS : Réseaux (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme			X				X	
29	HAZUS : Personnes (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme	X						X	
30	Classification des dommages au bâti en béton armé (EMS 98)	1998	ET	Séisme		X					X	
31	Classification des dommages au bâti en maçonnerie (EMS 98)	1998	ET	Séisme		X					X	
32	Landslides damage to buildings (N.H.R.C., 1999)	1999	ET	Mv.T.		X					X	
33	Rossi-Forel (Tiedemann, 1992)	1883	E2	Séisme		X					X	X
34	Mercalli Modifié	1931	E2	Séisme		X					X	X
35	JMA	1949	E2	Séisme		X					X	X
36	MSK (Sponheuer et al, 1964) remplacée par EMS 98	1964	E2	Séisme		X					X	X
37	Landsea	1992	E2	Cyclone								X
38	EMS98	1998	E2	Séisme		X					X	
39	D'intensité des phénomènes volcaniques (BRGM, 1998)	1998	E2	Volcan	X	X	X	X	X		X	X
40	De dommages liés aux tsunamis (Papadopoulos et al, 2001)	2002	E2	Tsunami	X	X	X	X	X		X	X
41	Gravité des phénomènes (préjudices humains) (MEDD)	1990	ED	Mv.T.	X							X
42	Gravité des accidents industriels (BARPI, 1993)	1993	ED	A. Ind.	X	X	X	X	X		X	X
43	Central Damage Value (Blong, 1999)	1999	ED	Divers		X					X	X
44	Échelle de gravité des dommages (MATE, 2002)	2001	ED	Divers	X	X	X	X	X			X
45	Échelle des catastrophes de Bradford (Keller, 1989)	1989	ED	Divers	X							X

En jaune, les échelles couramment utilisées en Europe

Tabl. 2 - Récapitulatif des échelles étudiées.

L'échelle de dommages liés aux cavités souterraines est une échelle qui évalue globalement les dommages et qui doit permettre de les comparer. Les échelles de ce type sont relativement peu nombreuses. Ce sont essentiellement l'échelle du BARPI (42) et l'échelle de gravité des dommages du MEDD (44).

L'échelle du BARPI, modifiée en 2002 est très intéressante car elle évalue les dommages dus à un événement à partir de quatre critères qui expriment les conséquences humaines, les conséquences environnementales, les conséquences économiques et celles provoquées par les matières dangereuses dues à l'événement.

L'échelle du MEDD permet, à partir des dommages humains et financiers, de comparer des événements de nature différente.

Dans l'ensemble, les échelles évaluent surtout les dommages aux personnes et les dommages au bâti. Dans le domaine du risque sismique, la méthodologie de description des dommages au bâti a été particulièrement développée. Les dommages aux infrastructures, aux ressources naturelles et aux fonctions sont peu pris en compte, hormis dans des échelles récentes, telles que l'échelle Météo ou l'échelle du BARPI qui s'intéressent en particulier aux dysfonctionnements collectifs.

L'analyse de ces échelles permet d'adapter des outils déjà développés aux spécificités des dommages liés aux cavités souterraines. En particulier, une synthèse des échelles typologiques a été menée afin d'assurer la cohérence de l'échelle proposée avec les échelles déjà existantes.

Conclusions pour l'établissement de l'échelle de dommages liée aux cavités souterraines

L'échelle de dommages réalisée est caractérisée par les critères d'évaluation, le nombre de niveaux retenus et par les dommages évalués.

• Critères d'évaluation

L'étude des dommages liés aux cavités souterraines montre que les dommages aux biens et aux personnes (**dommages physiques**) sont généralement caractérisés par une emprise géographique limitée mais par des dysfonctionnements forts (**dommages fonctionnels**) : logements inhabitables, routes coupées, écoles fermées, perte de production par exemple lors de l'effondrement de terrain à Saint-Emilion, etc.

De plus, ces événements ont des conséquences sociales, économiques et environnementales parfois très importantes.

L'analyse des dommages fonctionnels et l'évaluation des **impacts économiques, sociaux et environnementaux** doit faire l'objet de la réalisation de cette échelle.

• Nombre de niveaux

Le nombre de niveaux dans les échelles recensées est très variable, de trois à douze.

Les échelles ayant de nombreux niveaux ont en général pour objectif la description d'un phénomène, chaque seuil n'étant pas significatif de dommages.

S'agissant d'une échelle synthétique, dont l'objet est d'exprimer la gravité d'un dommage, il a paru pertinent de **retenir quatre niveaux** pour exprimer les dommages, l'absence de dommages ne faisant pas partie de l'échelle ou prenant la valeur 0.

• Critères d'opérationnalité

Cette échelle est avant tout réalisée pour les responsables de la gestion des risques. Ceux-ci se trouvent dans différentes situations selon qu'un événement vient d'arriver, que la reconstruction est en cours ou qu'il faut prendre en compte les risques dans un schéma d'aménagement à plus long terme.

Les modes d'utilisation de l'échelle sont présentés selon les phases de la gestion des risques.

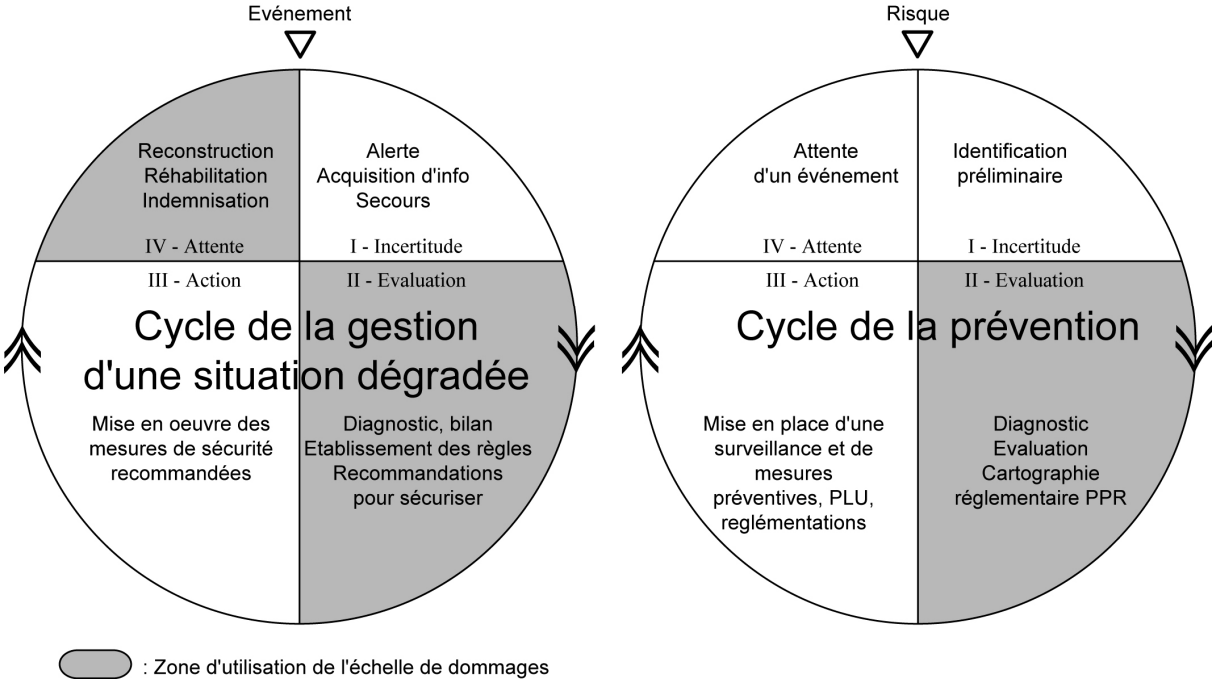


Fig. 2 - Les phases de la gestion du risque et le positionnement de l'échelle.

Dans la phase de gestion d'une situation dégradée, la phase de diagnostic et de bilan nécessite que les dommages physiques et fonctionnels soient identifiés. L'utilisation de l'échelle y est utile, car l'analyse des dommages fonctionnels facilite le diagnostic et permet d'identifier les principales mesures à prendre.

L'analyse menée postérieurement à l'événement, pendant la phase de réhabilitation et de reconstruction, correspond à un retour d'expérience pour lequel l'utilisation de l'échelle permet de structurer les informations et d'analyser, en les comparant, différents événements. Cette analyse permettra une meilleure prise en compte du risque pour l'organisation des secours face à un événement semblable.

Dans le cycle de la prévention, les dommages ne peuvent être évalués qu'à partir de scénarios qui sont basés sur l'évaluation des conséquences que pourrait avoir un événement à un instant donné. L'analyse des dommages et leur évaluation sur

l'échelle peut permettre d'analyser les facteurs de vulnérabilité fonctionnels, mais aussi économiques, sociaux ou politiques, propres au territoire étudié. Cette analyse peut permettre une meilleure prise en compte du risque sur les territoires concernés. De la même façon que dans le cycle dit de gestion d'une situation dégradée, on pourrait considérer que l'évaluation des dommages pourrait être utile pour toutes les applications et assimilations de la réglementation.

PROPOSITION POUR UNE ÉCHELLE DE DOMMAGES

La méthodologie établie pour l'établissement de l'échelle de dommages est la suivante :

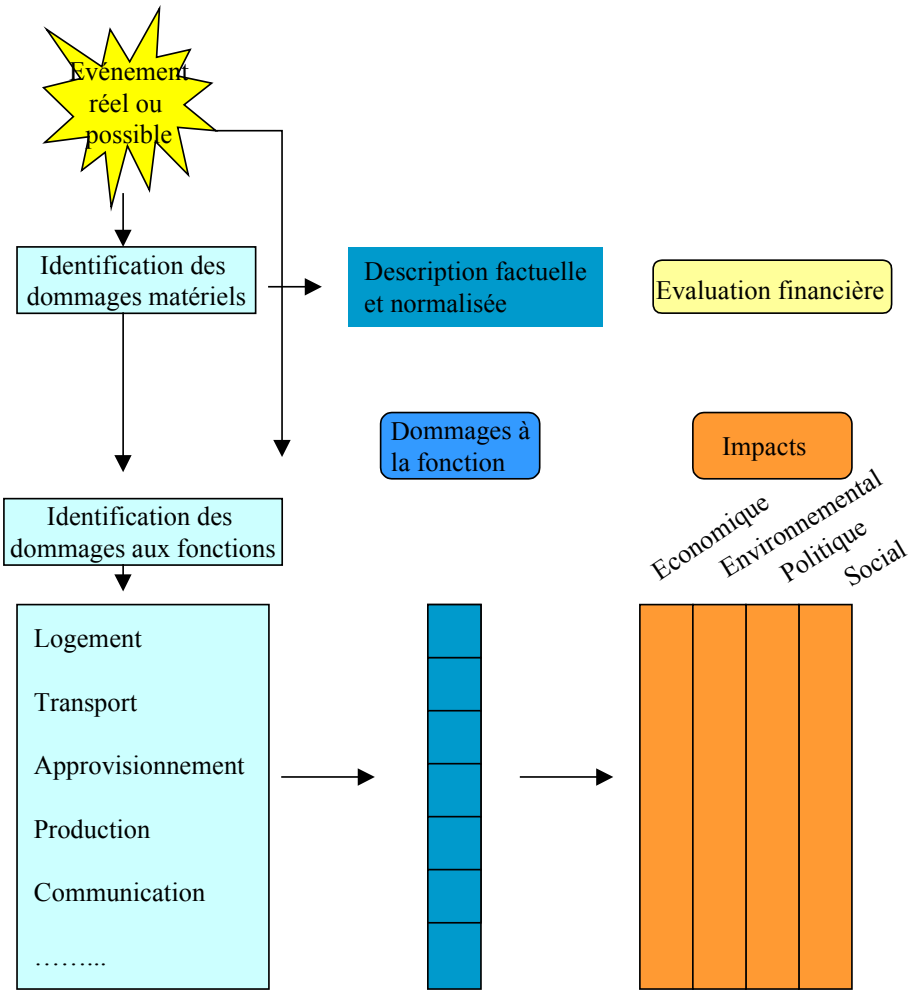


Fig. 3 - Schéma général d'utilisation de l'échelle.

Identification des dommages à évaluer

L'étude des dommages liés aux cavités souterraines montre que sont associés aux dommages physiques, aux personnes et aux biens, des dysfonctionnements, des difficultés sociales, des problèmes d'aménagement, etc. Cette diversité est difficile à

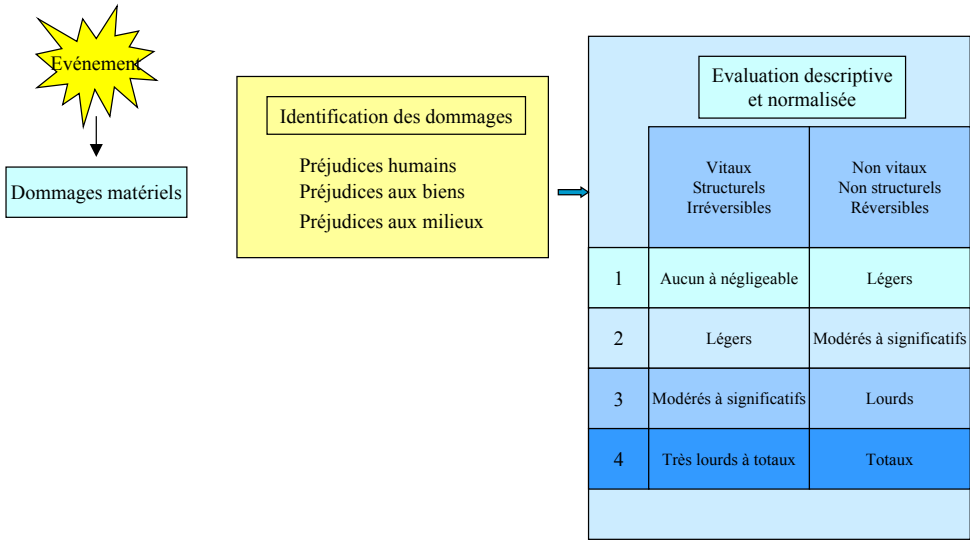
décrire car il n'existe pas de cadre standardisé permettant un inventaire clair et exhaustif. Des recherches menées sur les enjeux ont montré qu'il est pertinent de distinguer les éléments physiques et les fonctions qu'ils permettent d'assurer et d'en évaluer les impacts en termes économiques, sociaux ou environnementaux. Nous avons défini une typologie des éléments physiques et des fonctions retenus pour l'étude des dommages :

- les **dommages physiques** aux personnes (corporels ou psychologiques), aux biens, aux ressources et aux milieux ;
- les **fonctions :** habitat, transport, approvisionnement, gestion des déchets, production, communication, éducation, gouvernance, culture, sécurité publique, santé et culte.

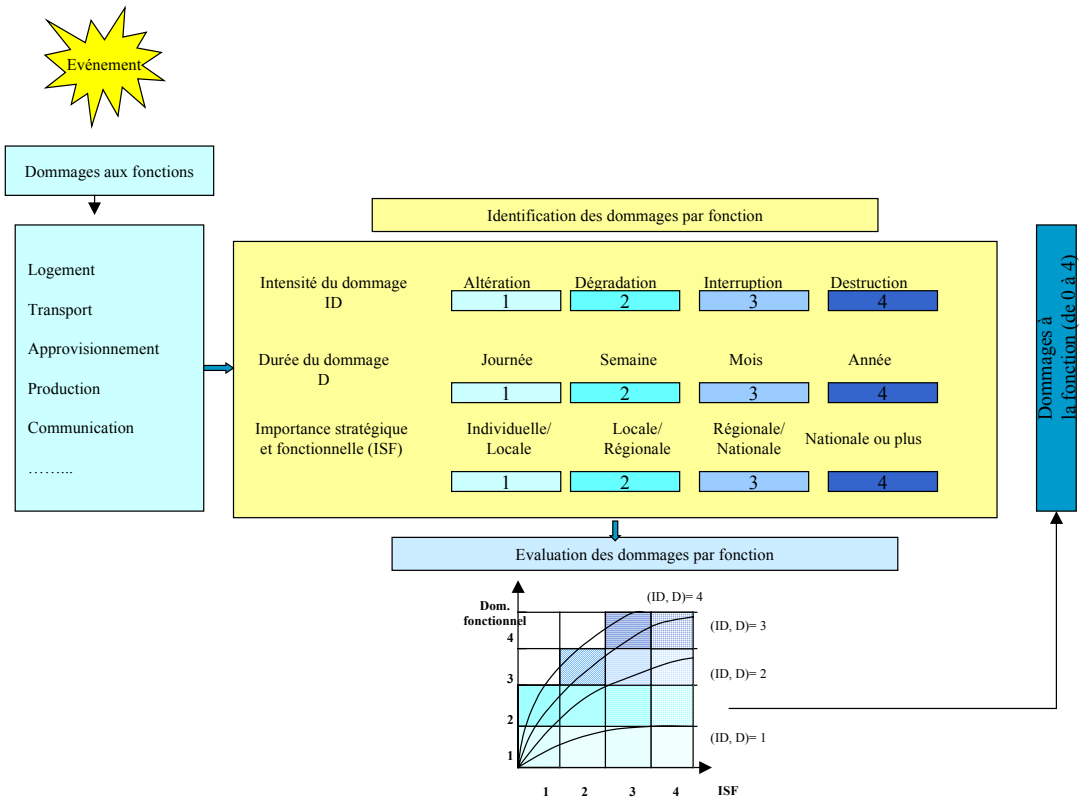
L'évaluation des dommages

Pour décrire les dommages dus à un événement et permettre la comparaison avec d'autres dommages dus à d'autres événements, il est nécessaire de disposer non seulement de la typologie des éléments affectés mais aussi d'un mode de description des niveaux de dommages. L'évaluation des dommages a donc nécessité l'établissement d'échelles typologiques :

- pour les **dommages physiques**, en s'appuyant sur trois échelles de dommages dus à des séismes (Hazus, EMS98 et Whitman…) ;



- pour les **fonctions** : l'analyse des quelques échelles évaluant les dommages fonctionnels permet de distinguer 2 critères d'évaluation : l'intensité du dommage (coupure totale ou partielle de la fonction) et sa durée. A ces 2 critères, nous avons ajouté un critère traduisant l'importance quantitative ou qualitative des usagers ou usages de la fonction. Ce dernier peut être individuel, local, régional ou national en fonction, notamment, du nombre de personnes concernées par l'altération de la fonction et du périmètre géographique touché.

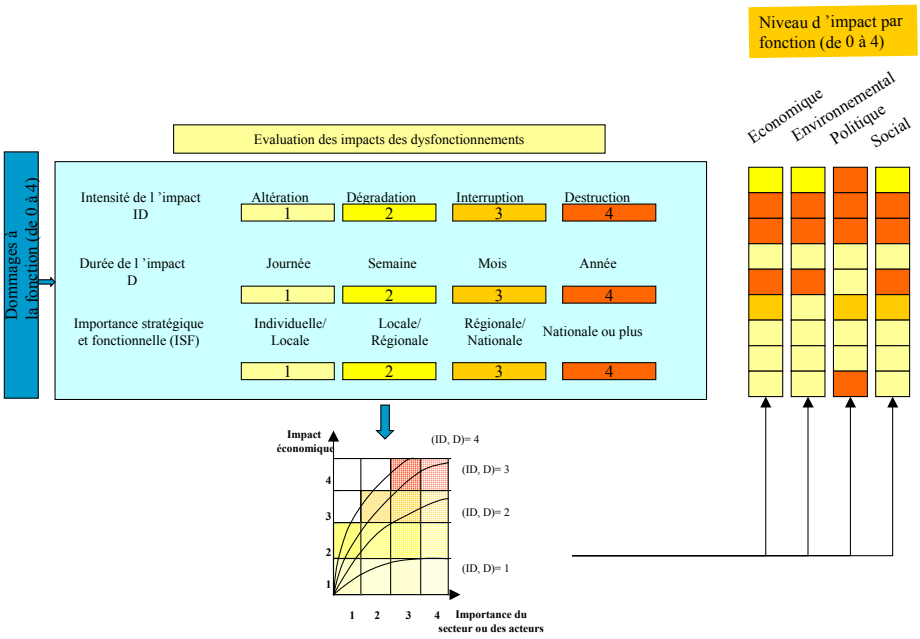


L'évaluation des conséquences des dommages

Après avoir identifié les dommages physiques et fonctionnels et avoir caractérisé leur niveau, il est nécessaire d'estimer leurs impacts en termes financiers, économiques, sociaux, environnementaux et politiques. Ce sont en effet ces évaluations, qui ajoutées à la description des dommages physiques, permettront d'exprimer les conséquences d'un événement.

L'échelle d'évaluation, sur quatre niveaux toujours, reprend le concept développé pour évaluer l'importance stratégique d'une fonction, c'est-à-dire que les conséquences d'un dommage sont dites individuelles, locales, régionales, nationales ou internationales, selon que des individus, de petites communautés, des régions, un état ou un ensemble d'états sont susceptibles ou non de faire face à ces conséquences.

Des tableaux de synthèse permettent d'apprécier le niveau représentatif de l'impact économique, social ou environnemental de dommages liés à l'effondrement de cavités souterraines. Il s'agit de critères de base mais on pourrait y ajouter des évaluations d'impact pour les domaines politiques, médiatiques…



Définition des conditions et limites d'utilisation

À partir de la méthode présentée ci-dessus, une grille permettant d'évaluer les dommages a été réalisée, elle est présentée ci-après.

• Description et évaluation des dommages (zones bleu clair et bleu foncé)

Les dommages physiques et fonctionnels sont distingués. Pour chacun d'entre eux, il est prévu une description factuelle. Pour les dommages physiques et fonctionnels, cette description est accompagnée du niveau typologique des dommages.

• Évaluation financière (zone jaune)

L'évaluation financière des dommages physiques doit être associée si possible à leur description. L'évaluation financière devant permettre la comparaison de différents évènements entre eux, il est souhaitable qu'elle soit réalisée sur des bases servant couramment de référence.

Les évaluations financières de dommages reposent généralement sur les dommages dont la réparation est susceptible d'être financée. Il s'agit des biens assurés, pour les particuliers, les entreprises et les agriculteurs, et des biens pour lesquels il est possible d'obtenir un financement pour l'Etat et les collectivités.

S'agissant de dommages dus aux ouvrages souterrains, il est possible de proposer une évaluation financière sur la base du coût de réparation des biens endommagés, cette réparation ou, le cas échéant, le remplacement, se faisant à l'identique du bien détruit, comme cela est spécifié dans le Code minier pour les dommages dus aux mines.

Dommages		Description factuelle et normalisée	Eval dommages fonctionnels	Impact Financier	Impact Economique	Impact Social	Impact politique	Impact Environnemental
Physiques	Personnes	Texte : nb personnes, affectées de niveau 1 à 4		€	Représenté dans les dommages aux fonctions			
	Biens	Texte : nb et types de biens affectés, indication du niveau d'endommagement de 1 à 4 pour chaque type de bien		€				
	Ressources	Texte : nature et quantité de milieux affectés, indication du niveau d'endommagement de 1 à 4 pour chaque milieu		€				
Fonctionnels	Logement	Texte : description du niveau de dommage fonctionnel (ID), de la durée de ce dommage (D), de l'importance stratégique de la fonction (ISF)	1 à 4	Pas d'évaluation financière, remplacée par les différentes mesures d'impacts	1 à 4	1 à 4	1 à 4	1 à 4
	Transport							
	Approvisionnement							
	Gestion des déchets							
	Production							
	Communication							
	Education	-						
	Gouvernance							
	Culture/Sport/Loisir	-						
	Sécurité publique	-						
	Santé	-						
	Culte	-						

Tabl. 3 - Grille d'évaluation de dommages et d'évaluation de leurs conséquences.

• Évaluation économique, sociale, environnementale et politique

L'évaluation des impacts sociaux et environnementaux est réalisée pour les dommages aux personnes et aux milieux.

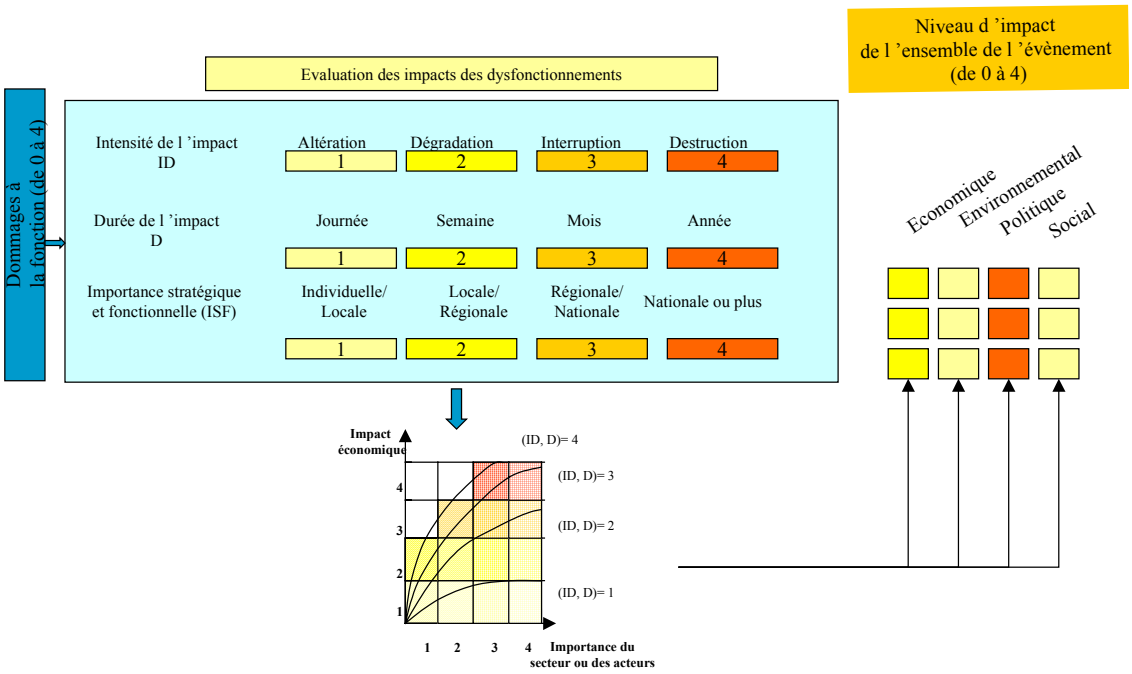
Ceci signifie par exemple que la blessure ou la disparition de personnes ont un impact social, indépendamment des fonctions que ces personnes exercent.
De même, l'endommagement de ressources naturelles a un impact environnemental, indépendamment de la fonction de ces ressources.

Ces évaluations ne portent pas sur les dommages aux biens, car ce sont les fonctions dont ils sont le support qui ont une valeur économique, sociale, environnementale ou politique. Par ailleurs, les impacts économiques, sociaux, environnementaux et politiques sont évalués pour tous les dommages aux fonctions.

Présentation : détaillée ou synthétique

La grille présentée ci-dessus peut permettre une évaluation rigoureuse et détaillée de tous les dommages, ce qui nécessite bien entendu de disposer d'éléments précis.

Dans certains cas, l'estimation des conséquences sociales, économiques et politiques de toutes les fonctions n'est pas utile si l'on cherche à réaliser une évaluation rapide ou sommaire, comme cela est présenté dans le schéma ci-dessous.



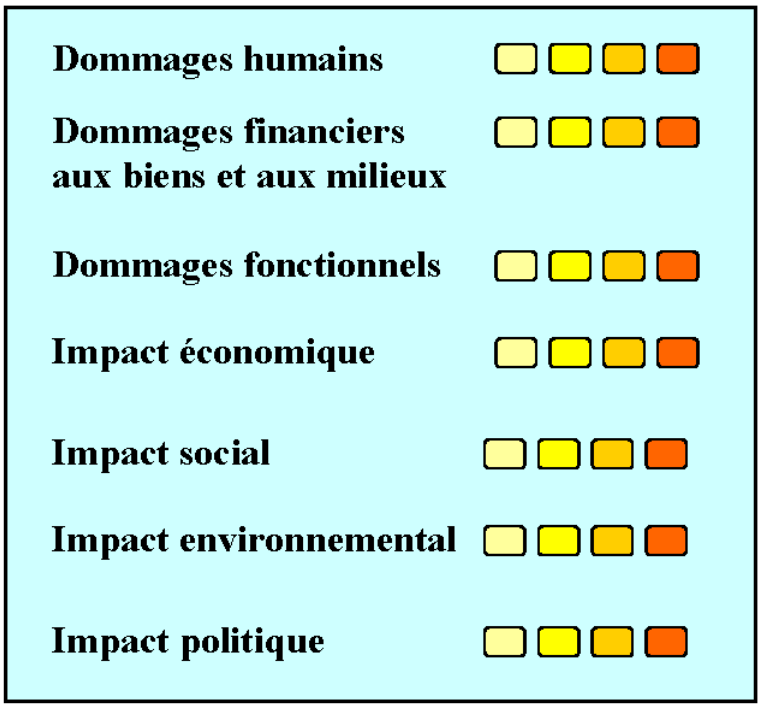
En ce cas, seuls les principaux impacts des principales fonctions sont à considérer. Leur analyse doit permettre d'identifier les dommages les plus importants et leurs conséquences, non seulement au moment de l'évaluation, mais aussi par anticipation. L'analyse des impacts économiques sociaux ou politiques observés ou imaginables

met en effet en évidence la vulnérabilité des systèmes étudiés et peut permettre, par une bonne gestion de l'événement, d'y pallier, au moins pour partie.

L'utilisation d'une échelle permet de comparer plusieurs dommages dus à différents évènements. Cette comparaison n'est facile qu'en utilisant des notes de synthèse dans l'échelle, c'est-à-dire en ne retenant que quelques valeurs significatives. Ce sont :

- les dommages aux personnes ;
- les coûts financiers ;
- les impacts économiques, sociaux, environnementaux et politiques.

L'échelle peut alors être présentée de cette façon :



Dans ce schéma de synthèse, les dommages humains sont notés de 1 à 4 ainsi que les dommages financiers.

Cette notation globale fait appel à l'échelle de dommages du MEDD, qui note de 0 à 5 ces dommages.

Application de l'échelle proposée à 4 cas

L'échelle mise au point a été appliquée aux 4 cas cités dans le tableau page suivante.

De ces cas, on retiendra que l'impact des dommages aux fonctions peut s'avérer à long terme plus grave que celui des dommages matériels. Ainsi, par exemple, dans le cas de Saint-Émilion, la perte de production de vin par le propriétaire a été estimée à plus de 40 k€/an (en 1997) et le terrain effondré est toujours inutilisable.

Lieu	Régime juridique	Date	Événement	Étendue (m^2)	Dommages		Coût (K€)
					Physiques	Fonctionnels	
Saint-Émilion	Carrière de calcaire abandonnée	1997	Effondrement	900	Destruction de 900 m^2 d'un terrain viticole	Perte de production	650[1]
Chanaz	Carrière de calcaire abandonnée	1996	Effondrement	3 000	3 maisons fissurées Destruction 100m d'une RD Destruction 100 d'une RC Destruction de canalisations et d'un transformateur EDF	Interruption de la fonction habitat Perte de la valeur des maisons Perte de production Interruption du transport et de l'approvisionnement	330[2]
L'Hautil	Carrière de gypse abandonnée	1991	Fontis	706,5	Une personne morte Un jardin effondré	Une maison est devenue inhabitable	417[3]
Auboué et Moutiers	Mine de fer abandonnée	1996	Affaissement	-	Des centaines de bâtis endommagés Plusieurs dizaines de bâtis démolis	Interruption de la fonction habitat Perte de production Interruption du transport et de l'approvisionnement.	35 000[4]

1 Coût estimé couvrant la réparation (300 K€ estimé par ANTEA), la valeur foncière du terrain (150 k€) et la perte économique sur 5 ans (200 k€ d'après le propriétaire).
2 Coût de la réhabilitation de la route départementale et de la route communale (source DDE Savoie).
3 Valeur foncière du pavillon estimée à 381 k€ et 36 k€ le coût de relogement temporaire pendant 2 ans (le maire).
4 D'après Malgorn, 1998.

Comme exemple, nous présentons le cas de l'effondrement survenu à Chanaz en 1996.

Chanaz est une commune du département de Savoie, d'une superficie de 675 ha dont la population compte environ 500 habitants. L'économie de la commune est fondée essentiellement sur le tourisme pendant la saison d'été, où quelques 150 000 visiteurs assurent la continuité de cette activité.

• Rappel des faits (ANTEA, 1996)

Le dimanche 21 juillet 1996, vers 6 h 20, un effondrement de terrain s'est produit à l'aplomb d'une carrière de calcaire marneux, presque totalement oubliée et dont l'exploitation est arrêtée depuis 40 ans, au lieu-dit « Lacour » dans la partie sud-est du chef-lieu. Deux fontis se sont créés, l'un au nord de la RD210, l'autre au sud sur un chemin communal, devant une maison. De plus, la RD s'est affaissée sur 30 m de longueur et 3 m de dénivelée. Sur le bord est de l'effondrement, le chemin d'accès à une propriété a également été touché.

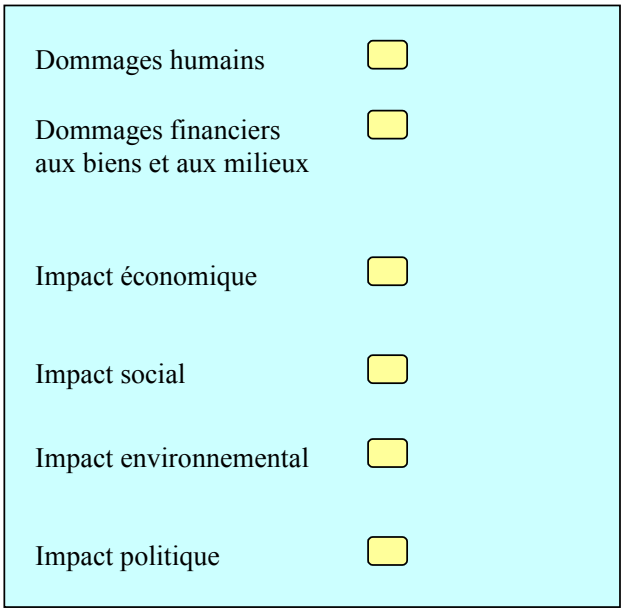
Une cellule de crise a été mise en place et dirigée par Mme la directrice du Cabinet du Préfet en la présence du maire de Chanaz, de la Protection Civile, des Pompiers, de la Gendarmerie, de la DDE et d'un géologue du BRGM.

• Remplissage de la grille

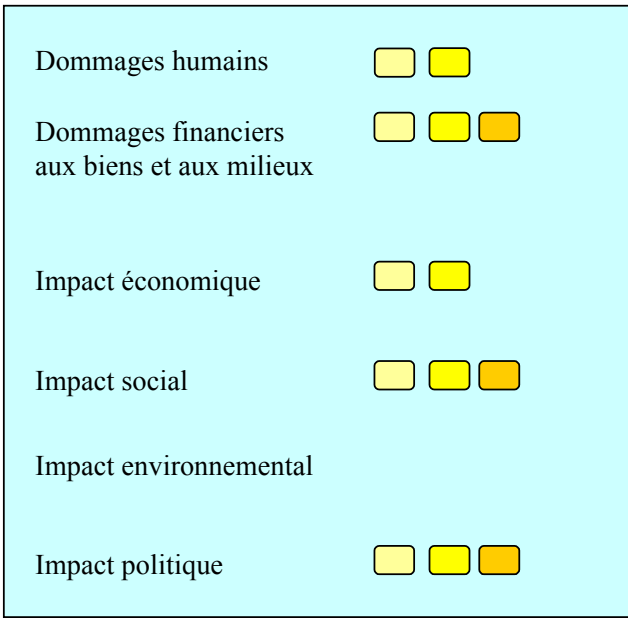
(Dans ce cas précis a été ajoutée une évaluation de l'impact médiatique qu'il a paru important de mentionner compte tenu du contexte de l'événement).

CHANAZ **(27/07/96)**	**Description factuelle**	**Evaluation des dommages**	**Impact financier**	**Impact économique**	**Impact social**	**Impact environnemental**	**Impact médiatique**
Personnes	-						
Biens	Effondrement d'une RC et d'une RD sur 100 m (T4) Rupture des canalisations en eau potable et usée (T4) Câble d'alimentation électrique du quartier rompu (T4) Câble téléphonique desservant le quartier rompu (T4) 3 maisons fissurées (T1)		330 k€				
Ressources	Perte d'accès à un quartier de la carrière (abandonnée) (T2 : nécessité d'une action pour rétablir l'accès si réouverture envisagée)					1	
Logement	8 personnes déplacées pendant 10 jours chez des parents jusqu'à la fin des travaux de stabilisation du sous-sol. (ID : 3-plusieurs personnes déplacées ; D : 2-10 jours ; IFS : 1-relogement personnel, pris en charge par la commune)	1		1	1	0	1
Transport	Un accès à la commune (RD) est coupé (ID : 3). Pendant 6 mois (D : 3), certains véhicules lourds ont été contraints à faire un détour de 10 km (pour atteindre la commune) (ISF : 1-2) et les habitants de la commune ont dû emprunter un accès aménagé sur 1 km environ. 12 foyers (ISF : 1-2) privés d'accès (RC) (ID : 3) en voiture à leur maison pendant 2 jours (D : 1). Cet accès a été perturbé (ID : 1) pendant 1 an (D : 4)	2 (ISF max)		1	2	0	2
Approvisionnement	Interruption (ID : 3) de l'approvisionnement en eau : 150 usagers privés d'eau (ISF : 2) à cause de la rupture des canalisations et de la vidange de 2 réservoirs d'eau pendant 2 jours (D : 1). 12 foyers (ISF : 1-2) sans électricité pendant 1 jour (D : 1).	2		1	1	0	0
Gestion des déchets	Rupture (ID : 3) de la canalisation des eaux usées pendant 2 j (D : 1), une source de gêne pour les 12 familles (ISF : 1-2) en raison des odeurs dégagées.	1 (ISF-1)		1	1	1	0
Production	Perturbation légère (ID : 1) de l'activité commerciale d'un restaurant (ISF : 1-2) durant quelques semaines (D : 2)	1 (ISF-1)		1	1	0	0
Communication	12 foyers privés (ID : 3) de lignes téléphoniques (ISF : 1-2) pendant 2 jours (D : 1) à cause de la rupture d'un câble France-Telecom.	1		1	1	0	0
Éducation	-	0		0	0	0	0
Gouvernance	Une enquête administrative a été engagée à la demande du Préfet pour s'assurer que les procédures administratives et réglementaires avaient bien été respectées au moment de la délivrance des permis de construire. Durée : plusieurs semaines. (ID : 1 ; ISF : 2 ; D : 3)	1		0	0	0	1
Culture/Sport/Loisir	-						
Sécurité publique	Absence de communication, difficulté d'accès -> réduction de la couverture sécurité	1					
Santé	-						
Culte	-						

Le profil correspondant de cet événement serait le suivant :



De la même façon, le profil correspondant aux affaissements d'Auboué et de Moutiers serait le suivant :



• Observations

L'application de la grille sur les 4 cas étudiés montre un besoin important d'informations relatives aux conséquences de chaque événement et des circonstances dans lesquelles s'est produit l'événement.

Le mode d'évaluation multidimensionnel et multifonctionnel, dont est munie la grille d'évaluation, permet une lecture détaillée des conséquences de l'événement. Ceci

permet à l'utilisateur final d'apprécier tous les dommages qui ont eu lieu ainsi que leurs conséquences qui peuvent s'avérer plus importantes que le dommage physique lui-même selon les différents aspects.

PERSPECTIVES

L'évaluation des dommages fonctionnels et de leurs conséquences sur le plan économique, social et environnemental, permet d'analyser la vulnérabilité du territoire et des acteurs concernés et d'évaluer quelle peut être l'évolution de l'événement.

Les notions simples de dommages locaux, régionaux etc. permettent d'arriver assez facilement au consensus dans l'évaluation des conséquences d'un événement.

Un travail de consolidation serait appréciable en appliquant cette échelle sur différents territoires.

L'analyse de nombreux retours d'expérience devrait permettre de constituer des profils types, qui, associés à des contextes (vulnérabilité) économiques, sociaux ou politiques, caractéristiques, permettraient d'identifier ou non, des risques d'aggravation de la situation.

La réalisation de tels profils implique l'analyse de nombreux cas, ce qui n'a pu être réalisé dans le cadre de cette étude.

Compte tenu de son approche fonctionnelle, une analyse des possibilités d'application de l'échelle à d'autres domaines du risque (risque naturel, risque industriel) constitue à nos yeux une piste intéressante.

Compte rendu du séminaire de restitution du 5 février 2004

La liste des participants est présentée ci-dessous :

Arnal Claire	BRGM
Blondiaux Solenne	DDE 80
Brugnot Gérard	CEMAGREF
Caffin Cyrille	DIREN Picardie
Charron Sylvie	D4E MEDD
De Vanssay Mme	Labo Psycho. Envir., Univ. Paris 5
Delmas Hélène	SDPRM chargée mission mvt
Feunteun René	MEDD
Gaber Jean	DPPR MEDD
Geosciences	Bureau d'études
Lemaire Mr	SIDPC 80
Magnier	Mairie d'Amiens
Messin Michel	BRGM
Mettoux Anne Paule	MEDD
Nussbaum Roland	GPSA (Assurances)
Reposeur Mme	SIDPC 54
Salmon Romuald	Ineris
Verdel Thierry	Laego

L'exposé technique ne fait pas l'objet de ce compte rendu, dans la mesure où son contenu est redondant avec le rapport ci-joint.

Les remarques des participants sont présentées en caractères gras. Les réponses de l'équipe de recherche en caractères normaux.

Seuls les débats sont retranscrits. L'ensemble des points abordés est regroupé par grand chapitre :

- domaines d'utilisation de l'échelle ;
- mode d'utilisation ;
- opérationnalité de l'outil réalisé ;
- utilité et pertinence dans le contexte de la gestion des risques ;
- perspectives.

DOMAINES D'UTILISATION DE L'ÉCHELLE

Ce sont surtout les utilisateurs finaux qui se sont exprimés à ce sujet (SIDPC, DDE, DIREN, ville d'Amiens, Assurances).

L'utilisation de l'échelle comme outil du retour d'expérience local paraît très intéressante. Elle permet à différents services d'échanger des informations et de

les mettre en commun et elle représente un bon outil d'analyse d'un événement. Les critères d'importance stratégique et fonctionnelle sont très intéressants.

L'utilisation de la grille en période de crise ne semble pas pertinente.

Cet outil peut-il être utilisé « ex ante » ?, c'est-à-dire peut-il permettre une évaluation a priori des dommages ? Ceci permettrait d'orienter certains choix d'investissement dans les collectivités.

Dans la mesure où l'on peut évaluer des dommages physiques à partir d'événements prévisibles, il n'y a pas de difficulté. Cela suppose que l'on connaisse la vulnérabilité des territoires susceptibles d'être affectés et que l'on réalise des scénarios. Cela constituerait une aide à la cartographie des dommages potentiels mais également un appui à la décision notamment en matière d'aménagement ou de mise en sécurité des territoires.

La notion de « curseur » est intéressante.

Il serait intéressant de tester cet outil sur d'autres phénomènes : mouvements de terrain, inondations.

C'est l'objectif du second volet proposé dans le cadre de l'appel d'offre du Medd RDT.

MODE D'UTILISATION

Plusieurs questions pratiques ont été posées :

Qui remplit la grille d'évaluation, comment sont définis les acteurs ?

L'ensemble des acteurs concernés par la gestion des dommages : les services de l'Etat, les collectivités territoriales, les politiques… Il y a autant de grilles remplies qu'il y a d'acteurs. Mais bien sûr il doit y avoir une grille de synthèse finale qui représente un consensus.

Qui harmonise les réponses ?

Il est prévu que la grille soit remplie au cours d'une séance rassemblant les acteurs concernés. Lors de cette séance, les points de vue des uns et des autres s'expriment et la notation finale devrait être consensuelle, dans la mesure même où il s'agit plus de la description d'un profil d'événement que d'une notation globale et donc réductrice.

Est-il envisageable de réévaluer un événement ?

A partir de cet outil il est possible d'évaluer et de réévaluer.

Quel est le temps nécessaire pour remplir la grille d'information ?

Si les acteurs concernés par la gestion de l'événement sont rassemblés, ils sont en mesure de fournir les informations techniques nécessaires en l'espace d'environ une demi-heure à une heure. L'évaluation des dommages (fonctionnels, politiques, sociaux

ou économiques) peut demander plus de temps dans la mesure ou elle reflète l'appréciation de différents acteurs qui discuteront autour des évaluations données.

Comment sont évalués les dommages financiers ?

Au moins sur la base des dommages aux biens couverts par les assurances. Il peut y être ajouté les dommages aux biens des collectivités ou de l'Etat, qui ne sont pas assurés. L'objectif est essentiellement de fournir une évaluation correspondant aux montants cités très rapidement dans les médias, par les politiques et repris dans l'échelle du MEDD. Il faut pouvoir disposer d'évaluations très rapidement. C'est pourquoi tous les coûts induits ne sont pas retenus. Ils sont exprimés par l'évaluation des dommages fonctionnels et économiques.

CARACTÈRE OPÉRATIONNEL DE L'OUTIL RÉALISÉ

Il s'agit d'un bon produit de recherche, mais c'est un produit de recherche

Il est nécessaire de le développer avec les utilisateurs et sur des cas concrets pour le rendre opérationnel. Ce n'était pas le but de cette étude que de réaliser un produit opérationnel.

Qu'en est-il de la pertinence des réponses obtenues, quels biais peut-on craindre, les résultats sont-ils assez fins, quel est le pouvoir discriminant de l'outil ?

L'intérêt de l'échelle est de permettre à différents acteurs ayant éventuellement des points de vue différents, d'évaluer les dommages dus à un événement selon leurs critères. On observera donc moins des biais que des évaluations ou des perceptions locales, ce qui est le but de l'échelle.

Toutefois, l'absence de tests avec les acteurs de la gestion du risque ne permet pas d'évaluer dans quelle mesure les évaluations peuvent être dispersées. Il en va de même pour ce qui concerne la finesse des résultats. Les seuils proposés pour l'échelle sont peut être à ajuster. Seuls des tests peuvent permettre ce travail.

Il serait nécessaire de disposer d'un mode d'emploi pour remplir la grille.

Ceci fait partie des développements à prévoir pour rendre l'outil opérationnel.

En cas d'utilisation dans une logique de prévention il serait nécessaire de définir un protocole d'utilisation de la grille.

Cela fait partie des développements à prévoir.

Il faudrait faire une évaluation locale, puis régionale d'un événement, afin d'évaluer les biais locaux.

La prise en compte des différents périmètres de dommages (temps et espace) à partir du moment où l'on ne se limite pas à l'évaluation des dommages physiques est en soi-

même un véritable sujet de recherche. Dans la pratique ce sont les évaluateurs qui définiront leur périmètre pertinent.

- ***Est-ce que l'on peut faire la somme des impacts ?***

Le parti a été pris de ne pas faire de somme qui agrége trop de données provenant d'évaluations différentes, nous avons préféré établir des « profils de dommages ou d'impacts » plutôt que de donner des notes résultantes.

UTILITÉ ET PERTINENCE DANS LE CONTEXTE DE LA GESTION DES RISQUES

Il serait pertinent d'ajouter une évaluation médiatique.

Cela est tout à fait possible. Concernant les médias, la question s'est posée de savoir s'il fallait identifier un domaine fonctionnel spécifique comme le transport ou l'enseignement par exemple et dans ce cas il peut y avoir dommage médiatique ou s'il fallait considérer que les troubles médiatiques résultants constituaient une conséquence de l'altération des autres domaines fonctionnels. Dans l'immédiat, nous avons opté pour considérer qu'il y avait des conséquences médiatiques de dommages fonctionnels au même titre que des conséquences politiques ou sociales, car les nuances sont importantes lorsque l'on est en présence de dommages fonctionnels différents.

Il s'agit d'un domaine important.

Cette échelle représente un bon outil d'alimentation d'une base de données de retours d'expériences, particulièrement intéressant pour les REX locaux.

Retenir les trois critères d'évaluation du développement durable est pertinent.

Outil bien adapté au ponctuel pour hiérarchiser, plus complexe pour l'événement de grande ampleur type crue, à expérimenter.

Il faudrait recaler l'échelle sur d'autres phénomènes, d'autres échelles de temps et d'autres échelles géographiques.

Cet outil pourrait être utilisé dans le cadre de la Loi Bachelot (Commissions départementales).

Cet outil peut permettre un enrichissement de l'échelle du MEDD et apporter des éléments pour l'observatoire de la vulnérabilité.

Quelle articulation peut-on envisager avec les méthodes européennes d'analyse de dommages dus à des catastrophes naturelles ?

L'analyse des dommages aux fonctions représente un outil « détachable », qui peut être réutilisé dans bien d'autres cas.

Les utilisateurs finaux présents sont prêts à tester cette échelle sur leurs propres cas. La DIREN Picardie propose une analyse des dommages dus aux cavités souterraines sur les arrondissements de Compiègne et Péronne. Cette analyse rassemblerait la DIREN, la DDE et le SIDPC (tous présents à la réunion).

Les autres acteurs empêchés (DRIRE Lorraine et Etablissement Public Lorraine se sont associés à la démarche et se sont déclarés vivement intéressés par la poursuite et l'expérimentation de l'outil.

- ***Il est souligné que ce type d'outil doit avoir pour perspective un cadre plus large pour répondre aux besoins d'évaluation de dommages notamment dans le cas de phénomènes de très grande ampleur, où le calage au niveau européen doit être harmonisé.***

- ***Cet outil doit être utilisé avec prudence notamment après les évaluations faites à l'issue des événements soumis à déclaration Cat. Nat. car ils engagent les évaluateurs sur des indemnisations.***

PERSPECTIVES

Pour compléter ce travail réalisé dans le cadre du programme EPR, une proposition a été formulée lors de l'appel d'offres du MEDD, RDT[1]. Ses objectifs correspondent en grande partie aux observations qui ont été faites au cours de la restitution. Ce sont :

- valoriser les travaux ;
- valider le concept ;
- réaliser un outil ergonomique ;
- analyser les résultats et définir un outil utilisable pour la prévention ;
- fabriquer un mode d'emploi ;
- privilégier une approche de développements exploratoires (analyse de la vulnérabilité, conditions d'appropriation du risque, méthodes de représentation spatiale des dommages, moyens de valorisation des REX, passage de l'évaluation après désordres à l'évaluation prévisionnelle).

Les acteurs de la gestion post crise sont identifiés. Pour tester la méthode, deux territoires, la Lorraine et la Picardie, et deux risques, risque mouvement de terrain et inondation, ont été choisis.

[1] RDT : Risques, Décision, Territoire

Sommaire

1. Introduction 39

2. Analyse du contexte actuel de l'évaluation des dommages dans le domaine des risques liés aux cavités souterraines 41

2.1. Contexte de gestion des dommages liés aux cavités souterraines. Concepts, définitions 41
2.1.1. Vocabulaire 41
2.1.2. Les étapes de la gestion du risque 42
2.1.3. Les acteurs et leurs rôles 43
2.1.4. Contexte réglementaire propre aux cavités souterraines 45

2.2. Cavités, événements et dommages. Caractéristiques et typologie 46
2.2.1. Typologie des cavités 46
2.2.2. Typologie des phénomènes 53
2.2.3. Dommages 63

2.3. - Apercu des échelles de dommage utilisées dans le domaine des risques industriels et naturels 75
2.3.1. Introduction 75
2.3.2. Répartition des échelles recensées par objectif 76
2.3.3. Les échelles typologiques de dommages (ET) 76
2.3.4. Les échelles d'intensité (dommages-événement) (E2) 81
2.3.5. Les échelles d'intensité (événement-dommages) (E1) 84
2.3.6. Les échelles d'évaluation globale des dommages (ED) 86
2.3.7. Synthèse 92

3. Proposition pour une échelle de dommages 97

3.1. Constat critique des pratiques actuelles et objectifs des travaux de recherche 97
3.1.1. Objectifs poursuivis 97
3.1.2. Analyse des échelles existantes 98
3.1.3. Caractéristiques de l'échelle de dommages proposée 100

3.2. Méthodologie 102
3.2.1. Approche opérationnelle 102
3.2.2. Identification des dommages 104
3.2.3. Évaluation des dommages 106
3.2.4. Évaluation des conséquences des dommages 115

3.3. Utilisation, conditions et limites 118
3.3.1. Mode d'utilisation 118
3.3.2. Conditions d'utilisation 121

3.3.3. Limites d'utilisation 123

3.4. « Cas d'étude » 124
3.4.1. Chanaz 125
3.4.2. Chanteloup-les-Vignes 131
3.4.3. Auboué 136
3.4.4. Moutiers 137
3.4.5. Saint-Émilion 140

3.5. Conclusions 143

4. Conclusions 145

Références bibliographiques par thème 147

Liste des figures

Fig. 1 - Présentation de l'échelle de synthèse. 5
Fig. 2 - Les phases de la gestion du risque et le positionnement de l'échelle. 14
Fig. 3 - Schéma général d'utilisation de l'échelle. 15
Fig. 4 - Cycles de la prévention et de la gestion d'une situation dégradée. 42
Fig. 5 - Exemple de cavités naturelles dans le calcaire : karst. 46
Fig. 6 - Répartition des substances minières en France (source : BRGM). 48
Fig. 7 - Répartition des carrières souterraines en France (source : BRGM). 49
Fig. 8 - Exploitation partielle par chambres et piliers abandonnés (source : Atlas Copco). 50
Fig. 9 - Exploitation partielle par chambres magasins (source : Atlas Copco). 50
Fig. 10 - Exploitation par puits et chambres : une marnière. 51
Fig. 11 - Principes de la méthode d'exploitation par piliers foudroyés (source : INERIS). 51
Fig. 12 - Principes de la méthode d'exploitation par longue taille (source : Atlas Copco). 52
Fig. 13 - Sape. 53
Fig. 14 - Fontis à Chanteloup-les-Vignes en 1991 (source : Inspection Générale des Carrières de Versailles). 54
Fig. 15 - Venue au jour d'un fontis dans un secteur urbanisé de la commune (source : INERIS). 56
Fig. 16 - Exemple de pilier ruiné. Carrière de gypse de Roquevaire (source : INERIS). 56
Fig. 17 - Exemple d'orifice minier non sécurisé. 57

Fig. 18 - Effondrement du puits n° 16 de Courrières après « sabotage » du cuvelage au droit de l'aquifère de surface. Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. 58

Fig. 19 - Effondrement d'une cavité naturelle par dissolution du gypse (Bargemont, Var) (source : MATE). 59

Fig. 20 - Conséquences en surface d'un effondrement en masse. Carrière de calcaire de Crouzille (37) (source : INERIS). 60

Fig. 21 - Coupe schématique d'une cuvette d'affaissement (source : INERIS). 62

Fig. 22 - Inclinaison d'une maison sous l'effet d'un affaissement minier dans le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. Le lampadaire récemment installé et situé au milieu de la photo indique la verticale (photo prise dans les années 1960) (source : INERIS). 63

Fig. 23 - Effondrement ayant entraîné la destruction partielle d'une dépendance à Piennes-Onvillers (photo L. Stieltjes, BRGM). 66

Fig. 24 - Tours, quartier de Saint-Symphorien, effondrement d'une façade de cave (photos R. Pasquet) 1998. 67

Fig. 25 - Marmoutier, carrière souterraine affaissée avec effondrement du coteau en façade, 1985 (photo R. Pasquet). 68

Fig. 26 - Saint Gilles de la Neuville, 76 (photo Ch. Mathon). 69

Fig. 27 - Extraits de coupures de presse sur les dommages dus aux marnières. 70

Fig. 28 - Dommages à Auboué (photo M. Messin). 72

Fig. 29 - Répartition des échelles par objectifs. 76

Fig. 30 - Typologie des dommages selon les EMS 98. 83

Fig. 31 - Les phases de la gestion du risque et le positionnement de l'échelle. 102

Fig. 32 - Étendue de la cavité et celle des maisons au-dessus (source : DDE Savoie)..... 126

Fig. 33 - L'effondrement de la route communale (source : BRGM). 128

Fig. 34 - Effondrement de la route départementale (source : BRGM). 128

Fig. 35 - Les dommages aux réseaux enterrés (source : BRGM)..... 128

Fig. 36 - Les routes empruntées pour contourner la RD effondrée (source : BRGM). 129

Fig. 37 - Évaluation simplifiée des dommages. 131

Fig. 38 - Étendue de la zone sous minée au massif de l'Hautil et les communes avoisinantes (source : IGC Versailles). 132

Fig. 39 - Une vue sur le fontis révélant l'importance de son cratère (source : IGC Versailles). 132

Fig. 40 - Des « civils » ainsi que le matériel lourd des secouristes au bord du trou sans le dispositif de sécurité approprié (source : IGC Versailles). 135

Fig. 41 - Évaluation simplifiée des dommages. 135

Fig. 42 - Évaluation simplifiée des dommages. 139

Fig. 43 - Étendue des terrains sous-cavés à Saint-Émilion (source : Service des carrières en Gironde). 140
Fig. 44 - La parcelle de vignoble effondrée (source : BRGM). 141
Fig. 45 - Évaluation simplifiée des dommages. 143

Liste des tableaux

Tabl. 1 - Présentation de l'échelle détaillée 4
Tabl. 2 - Récapitulatif des échelles étudiées. 12
Tabl. 3 - Grille d'évaluation de dommages et d'évaluation de leurs conséquences ... 19
Tabl. 4 - Importance du rôle de chacun des acteurs dans les phases 44
Tabl. 5 - Importance du rôle de chacun des acteurs dans la gestion 44
Tabl. 6 - Liste des échelles triées par catégorie 77
Tabl. 7 - Échelle de dommages aux personnes (Leone). 78
Tabl. 8 - Échelle de dommages aux personnes (Hazus). 79
Tabl. 9 - Échelle de dommages aux réseaux (d'après Hazus). 80
Tabl. 10 - Exemples de fonctions continues de réparation de réseaux (d'après Hazus). 80
Tabl. 11 - Exemples de fonctions discrètes de réparation de réseaux (d'après Hazus). 80
Tabl. 12 - Échelle de dommages aux fonctions (Leone). 81
Tabl. 13 - Échelle de dommages des surfaces naturelles (Leone). 81
Tabl. 14 - Croisement entre le degré de dommages et les classes de vulnérabilité dans l'échelle EMS98. 84
Tabl. 15 - Caractéristiques physiques utilisées comme critères pour l'évaluation de l'intensité des phénomènes. 85
Tabl. 16 - Échelle d'évaluation des dommages humains dus à des accidents industriels. 86
Tabl. 17 - Échelle d'évaluation des dommages humains d'après l'échelle de gravité des phénomènes mouvement de terrain. 87
Tabl. 18 - Échelle d'évaluation des dommages humains d'après l'échelle de gravité du MEDD. 87
Tabl. 19 - Seuils de dommages financiers retenus par les échelles globales. 87
Tabl. 20 - Les sous-échelles et les critères qui servent à l'évaluation des dommages. 89
Tabl. 21 - Paramètres techniques de l'échelle des accidents industriels. 91
Tabl. 22 - Valeurs seuils de l'échelle de risque industriel. 93
Tabl. 23 - Récapitulatif des échelles étudiées. 98

Tabl. 24 - Dommages structurels et non structurels au bâti dans les échelles de dommages dus aux séismes. 108
Tabl. 25 - Proposition pour une échelle typologique de dommage au bâti. 108
Tabl. 26 - Proposition pour une échelle typologique de dommage aux réseaux routiers. 109
Tabl. 27 - Proposition pour une échelle typologique de dommage aux réseaux enterrés. 109
Tabl. 28 - Proposition pour une échelle typologique de dommage aux ressources et aux milieux naturels. 109
Tabl. 29 - Proposition pour une échelle typologique de dommage aux personnes. ... 110
Tabl. 30 - Évaluation de l'importance du secteur ou des acteurs économiques touchés et des mesures palliatives prises. 117
Tabl. 31 - Évaluation des conséquences des dommages économiques sur les acteurs. . 118
Tabl. 32 - Grille d'évaluation de dommages et d'évaluation de leurs conséquences . 119
Tabl. 33 - Grille d'évaluation des dommages de Chanaz. 130
Tabl. 34 - Grille d'évaluation des dommages de Chanteloup-les-Vignes 134
Tabl. 35 - Coût des affaissements d'Auboué et de leurs conséquences (surveillance, études) (source : Malgorne, 1998). 137
Tabl. 36 - Grille d'évaluation des dommages d'Auboué. 139
Tabl. 37 - Coût de l'affaissement à Moutiers et de ses conséquences (surveillance, études) (source : Malgorne, 1998). 140
Tabl. 38 - Grille d'évaluation des dommages de Saint-Emilion 142
Tabl. 39 - Liste des échelles de dommages étudiées..... 167
Tabl. 40 - (42) Échelle de risque industriel. 173
Tabl. 41 - (6) Échelle canadienne d'avalanche..... 174
Tabl. 42 - (9) Échelle météo de risque d'avalanche. 174
Tabl. 43 - (2) Échelle de Fujita Pearson. 175
Tabl. 44 - (3) Échelle Saffir-Simpson. 176
Tabl. 45 - (7) Bom. 176
Tabl. 46 - (37) Echelle Landsea..... 177
Tabl. 47 - (4) Echelle de Torro. 177
Tabl. 48 - (9) Échelle de vigilance météo. 181
Tabl. 49 - (11) Échelle de risque de collision avec une météorite. 182
Tabl. 50 - (13) Échelle de dommages du National Coal Board. 182
Tabl. 51 - (14) Échelle de dommages selon Brunh *et al*..... 183
Tabl. 52 - (15) Echelle de dommages selon Bhattacharya et Singh..... 183
Tabl. 53 - (16) Echelle de dommages de Ji-Xian..... 183

Tabl. 54 - (19) Échelle de classification des dégradations selon Pellisier *et al*. 184
Tabl. 55 - (25) Échelle de classification des dégradations selon Burland. 184
Tabl. 56 - (17) Échelle d'Alexander. 185
Tabl. 57 - (18) Échelle des niveaux d'intensité DPP (Demande de Prévention Potentielle). 185
Tabl. 58 - (41) Échelle de gravité des phénomènes (au plan des préjudices humains). ... 185
Tabl. 59 - (20 à 24) Échelle typologique d'endommagement selon Léone..... 186
Tabl. 60 - (33) Rossi Forel. 187
Tabl. 61 - (34) Mercalli modifié. 187
Tabl. 62 - (35) JMA. 188
Tabl. 63 - (36) Echelle MSK..... 188
Tabl. 64 - (12) Échelle de dommages au bâti après un séisme selon Whitman *et al*. 190
Tabl. 65 - (38) Échelle d'intensité EMS 98. 191
Tabl. 66 - (30) EMS 98, échelle de dommages aux constructions en béton. 191
Tabl. 67 - (31) EMS 98, échelle de dommages aux constructions en maçonnerie. ... 192
Tabl. 68 - (26) Hazus, exemple d'échelle de dommage pour un type de bâti. 192
Tabl. 69 - (27) Hazus, exemple d'échelle de dommage pour une infrastructure autoroutière. 193
Tabl. 70 - (28) Hazus, échelle de dommages pour les installations d'eau potable..... 193
Tabl. 71 - (29) Hazus, échelle de dommages aux personnes. 194
Tabl. 72 - (1) Échelle de Soloviev. 194
Tabl. 73 - (5) Échelle de Murty. 194
Tabl. 74 - (40) Échelle de dommages liés aux tsunamis (Papadopoulos)..... 195
Tabl. 75 - (39) Échelle d'intensité des phénomènes volcaniques..... 196
Tabl. 76 - (8) INES, Échelle Internationale des Événements Nucléaires. 197
Tabl. 77 - (43) Central Damage Value. 198
Tabl. 78 - (44) Échelle de gravité des dommages (MEDD). 198
Tabl. 79 - (45) Échelle de Bradford..... 198

Liste des annexes

Annexe 1 - Définitions et concepts 157
Annexe 2 - Inventaire des principales échelles de dommages..... 165
Annexe 3 - Questionnaire 201

1. Introduction

Ce rapport a été réalisé dans le cadre du programme de recherche EPR3 « Évaluation et prise en compte des risques technologiques » financé par le MEDD.

Il fait l'objet de la convention n° 7/2001.

Répondant à l'objectif de l'axe 1 « la mesure du risque », ce travail a pour objet la réalisation d'une échelle de dommages dans le contexte des mouvements de terrain liés aux cavités souterraines. Il a été intégré aux programmes de recherche du GISOS, Groupement d'Intérêt Scientifique de recherche sur les Ouvrages Souterrains et a réuni, sous la coordination du BRGM, l'INERIS, le LAEGO (Ecole des Mines de Nancy et Ecole de Géologie), Deschanels Consultants et le Laboratoire de Psychologie de Metz. Chaque partenaire a cofinancé cette étude.

Les motivations de ces travaux de recherche reposent sur le constat que les outils actuellement disponibles permettant de décrire et d'évaluer les dommages sont partiels et de plus, difficilement utilisables à la fois en période de gestion de crise et de prévention. Ils sont le plus souvent développés pour décrire les dommages aux constructions et les préjudices humains. Les évaluations correspondent à une énumération des dommages physiques (nombre de morts, de blessés, de bâtiments endommagés) ou à une évaluation monétaire. Elles ne permettent pas d'apprécier dans leur globalité les impacts de l'évènement, qu'ils soient fonctionnels (coupure de route, fermeture d'une école), sociaux, économiques ou politiques.
.
C'est pourquoi une méthode d'évaluation et de description globale, définissant des standards s'appliquant à l'ensemble des impacts de l'événement a été développée, sous la forme d'une échelle de dommages.

Parce qu'il est compétent dans le domaine des cavités souterraines, parce que celles-ci affectent d'importants territoires, parce que le développement d'un outil adapté à la problématique des cavités peut être un point de départ pour le développement d'une méthode d'évaluation généralisable à d'autres catastrophes naturelles, parce que cela fait partie de ses objectifs de recherche[2] et parce que le statut des cavités appartient tant aux risques naturels qu'au risque industriel, GISOS a proposé la réalisation d'une échelle de dommages liés aux cavités souterraines.

Les occasions d'utiliser l'outil développé tant en France que dans les autres pays miniers sont nombreuses. A l'heure de l'abandon des exploitations minières ou de l'urbanisation sur des zones agricoles affectées par des marnières dont le souvenir a disparu, il est important, tant pour l'aménageur que pour le gestionnaire de crise, d'évaluer l'importance des dommages liés à l'effondrement de cavités.

Les objectifs fixés aux fonctionnalités de l'échelle de dommages réalisée dans le cadre de cette étude sont les suivants :

[2] Axe 3 de GISOS, « le risque ».

- destinée aux gestionnaires du risque, elle doit pouvoir être utilisée dans la gestion de l'événement et lors de la mise en place des travaux de prévention ;
- elle doit permettre à ces responsables d'évaluer rapidement les conséquences d'un événement et de comparer des événements entre eux ;
- à partir de scénarios, il doit être possible d'étudier les conséquences d'événements potentiels et d'éclairer la mise en place d'une politique de prévention/protection ou d'établir des cartes de risques ;
- l'évaluation doit pouvoir être faite selon plusieurs points de vue, c'est-à-dire selon celui du responsable de la gestion des risques, mais aussi de l'aménageur, de l'industriel, des collectivités, etc. ;
- l'échelle doit être la plus simple et la plus lisible possible pour pouvoir être comprise par ses différents utilisateurs.

Il convenait pour mener cette tâche :

- de partir de l'état de l'art des outils d'évaluation et de description de dommages disponibles ;
- d'engager une analyse rigoureuse de la notion de dommages ;
- de constituer une méthode efficace pour décrire et évaluer les dommages.

L'échelle réalisée devant par ailleurs être testée, quatre cas concrets ont été pris comme exemple.

2. Analyse du contexte actuel de l'évaluation des dommages dans le domaine des risques liés aux cavités souterraines

2.1. CONTEXTE DE GESTION DES DOMMAGES LIÉS AUX CAVITÉS SOUTERRAINES. CONCEPTS, DÉFINITIONS

2.1.1. Vocabulaire

Nous proposons dans ce chapitre de présenter les principales définitions utilisées dans le cadre de notre étude. Afin de ne pas alourdir le texte, le contexte des risques et en particulier les concepts de risque, d'aléa et de vulnérabilité. ainsi que les cadres méthodologiques dans lesquels ces concepts sont actuellement utilisés sont présentés en annexe 1.

Définitions choisies

On retiendra dans la suite de ce rapport les définitions générales suivantes :

- **aléa** : phénomène potentiellement dangereux (qui peut engendrer des dommages) caractérisé par des probabilités d'occurrence associées à des niveaux d'intensité, pendant une période de temps donnée ;
- **intensité** : expression de l'agression d'un phénomène, évaluée ou mesurée par ses paramètres physiques. Elle intervient dans l'évaluation de l'aléa. Par exemple, pour le phénomène « affaissement », il peut s'agir de l'amplitude verticale du mouvement ou de la déformation maximale. Pour le phénomène « effondrement ou glissement de terrain », il peut s'agir du volume de matériau remanié.

  Lorsqu'il n'est pas possible d'évaluer ces paramètres physiques, on peut alors recourir à des méthodes indirectes, basées sur l'importance de leurs conséquences potentielles en termes d'endommagement ou de dangerosité ou de l'importance des parades théoriquement nécessaires pour annuler le risque ;
- **éléments exposés** : population, constructions et ouvrages, milieux naturels exposés à un aléa ;
- **enjeux** : la notion d'enjeu recouvre une notion de valeur, ou d'importance, c'est pourquoi la définition ci-après est proposée : éléments exposés caractérisés par une valeur fonctionnelle, financière, économique, sociale et/ou politique ;
- **vulnérabilité physique** : aptitude d'un bien ou d'une activité à être plus ou moins affecté, en terme de perte ou d'endommagement, par la survenance d'un phénomène donné d'intensité donnée ;
- **vulnérabilité sociale, économique, fonctionnelle** : niveau des conséquences prévisibles d'un phénomène sur les enjeux en termes sociaux, économiques ou fonctionnels ;

- **risque** : combinaison de l'aléa, de la vulnérabilité des enjeux et de leur valeur, représentée par une probabilité de perte (biens, personnes..) pendant une période de temps et dans une région donnée.

2.1.2. Les étapes de la gestion du risque

Depuis longtemps, les méthodes d'analyse des risques n'ont cessé d'évoluer et leurs résultats sont désormais déterminants auprès des décideurs en matière de gestion du risque, là où un aléa met en cause des enjeux. Gérer le risque revient à se donner les moyens d'apprécier, quantitativement ou qualitativement, l'aléa et les enjeux pour en déduire des choix décisionnels clairs. Chaque situation implique des attitudes et des outils appropriés à la prise en compte du risque. Il convient alors de distinguer deux situations dans lesquelles pourra être placé le gestionnaire du risque, d'une part la gestion du risque à long terme lorsque la présomption existe mais que l'événement n'est pas encore survenu et d'autre part, la gestion d'une situation dégradée ou de crise suite à l'occurrence de l'événement.

Les phases de la gestion du risque sont présentées ci-dessous. A chacune d'elles sont associées les principales actions qui les accompagnent.

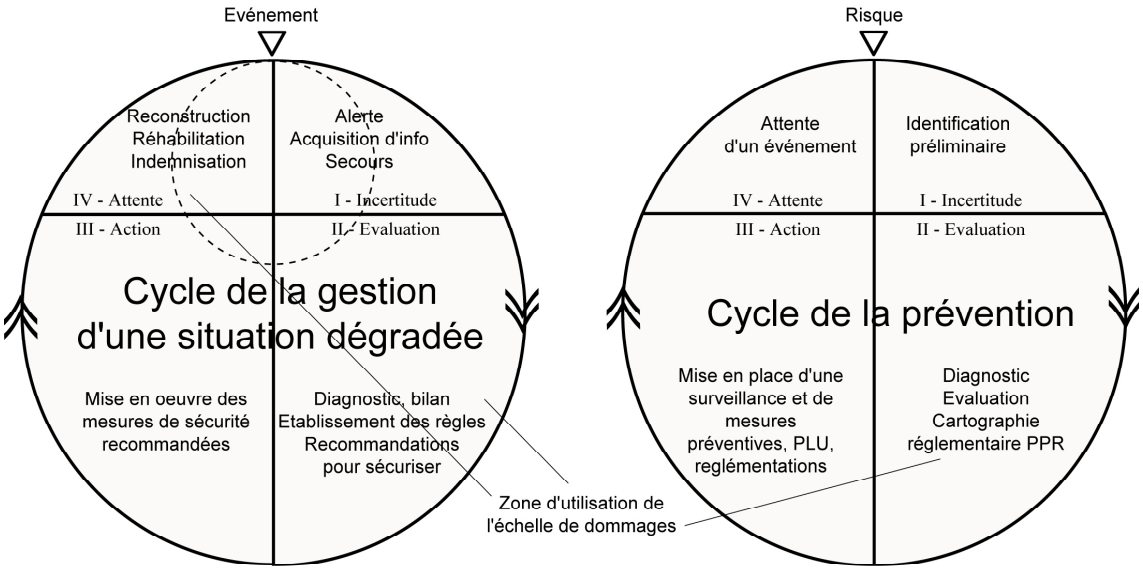


Fig. 4 - Cycles de la prévention et de la gestion d'une situation dégradée.

Deux grands cycles sont distingués : la gestion de la crise ou d'une situation dégradée et la gestion du risque en dehors des périodes de crise, deux positionnements qui sont parfois inclus dans deux types d'action l'une de prévention, l'autre de protection.

L'objectif de cette présentation en cercle est de montrer que la gestion du risque pour des territoires exposés correspond plus à une série de cycles soit de prévention soit de gestion des situations dégradées qu'à une démarche linéaire.

2.1.3. Les acteurs et leurs rôles

Durant les phases de la gestion du risque, plusieurs acteurs sont mobilisés soit pour agir sur la situation, soit parce qu'ils la subissent. Le rôle de chacun de ces acteurs varie selon sa position dans le cycle de gestion du risque.

Les tableaux ci-dessous présentent les rôles de ces acteurs principaux. Ils sont découpés par phases, de I à IV, qui correspondent aux phases identifiées sur la figure.

Dans le cycle de la prévention, c'est à l'État qu'il revient d'assurer les tâches essentielles de prévention, de préparer les plans de secours, d'élaborer des lois et de réglementer.

Les services techniques communaux et départementaux quant à eux, sont responsables de l'organisation de l'information préventive des populations, de la préparation des plans d'action locaux (réglementaires ou non), de la bonne application des réglementations et notamment de la maîtrise rigoureuse de l'urbanisme et de l'aménagement dans les zones soumises à des phénomènes menaçant dans le cadre de la mise en place de Plans de Prévention des Risques.

Les spécialistes, les scientifiques et les experts ont la charge de réaliser les études techniques en concertation avec les services de l'État et des Collectivités, de mettre en œuvre des programmes de recherche pour élaborer des méthodes d'aide à la décision, pour élaborer de nouvelles normes de construction, etc.

Les populations et les agents économiques sont les acteurs pour lesquels les mesures de prévention sont mises en place, leur participation essentielle s'inscrit dans l'application des réglementations, dans l'assimilation et dans l'appropriation des règles de prévention vis-à-vis de risques déterminés.

Enfin, les assureurs sont les acteurs de la réparation mais également de la prévention si l'on admet que leurs actions visent non seulement à indemniser les victimes de dommages, mais également à promouvoir les mesures de prévention destinées à réduire les dommages potentiels.

Dans le cycle de gestion d'une situation dégradée, ce sont les maires qui sont les acteurs placés en position de gestionnaire des événements sauf lorsque les moyens nécessaires dépassent les compétences de la commune. Dans ce cas, les différents niveaux de responsabilités de l'État et de ses services déconcentrés peuvent être sollicités jusqu'au niveau du premier ministre lorsque les phénomènes qui se produisent ont des conséquences nationales.

Outre les Services Départementaux d'Incendie et de Secours, les équipes techniques des collectivités peuvent être sollicitées, mais ce sont pour l'essentiel les services déconcentrés qui agissent généralement aux côtés du Préfet et de son service spécialisé SIDPC ou SIACEDPC (défense et protection civile).

Après l'accident, c'est le Maire qui fait instruire les dossiers de reconnaissance de « l'état de catastrophe naturelle » pour les communes. Lorsqu'il est admis et signifié par un arrêté, cela permet l'indemnisation des victimes par les assureurs.

Dans ce cadre, les populations et les agents économiques pour l'essentiel subissent les dommages et exécutent les consignes d'urgence diffusées par les autorités.

Enfin, les spécialistes, les scientifiques et les experts, apportent un appui au gestionnaire de la situation dégradée. Ils évaluent les menaces et proposent des moyens à mettre en œuvre pour assurer la sécurité des biens et personnes.

Les acteurs		I	II	III	IV
Etat	Services centraux (ou de zone)	En cas de crise grave de niveau national			
	Services déconcentrés de sécurité	———	———	---→	
	Services déconcentrés, autres		———	———	
	Services de secours	———	———		
Collectivité	Services techniques communaux	———	- - - -	- - - -	- - - - →
	Services techniques départementaux			- - - - →	
Population	Population exposée				
	Associations	———	- - - -	- - - -	- - - - →
Assureurs			- - - -	- - - -	——— →
Acteurs économiques	Services	- - - -	- - - -	- - - -	- - - - →
	Industriels, commerçants, agriculteurs			- - - -	- - - - →
Spécialistes, scientifiques experts	Etablissements publics				
	Bureaux d'études		———	- - - -	- - - - →
	Universités				

Légende ——— : Très concerné - - - - : Concerné ---------- : Peu concerné

Tabl. 4 - Importance du rôle de chacun des acteurs dans les phases de prévention.

Les acteurs		I	II	III	IV
Etat	Services centraux (ou de zone)	———	———	———	——— →
	Services déconcentrés de sécurité	- - - -	- - - -	- - - -	- - - - →
	Services déconcentrés, autres	- - - -	- - - -	———	- - - - →
	Services de secours				
Collectivité	Services techniques communaux	- - - -	- - - -	———	——— →
	Services techniques départementaux				
Population	Population exposée	———	- - - -	- - - -	- - - - →
	Associations				
Assureurs			- - - -	- - - -	- - - - →
Acteurs économiques	Services	- - - -	- - - -	- - - -	- - - - →
	Industriels, commerçants, agriculteurs				
Spécialistes, scientifiques experts	Etablissements publics				
	Bureaux d'études	- - - -	———	- - - -	- - - - →
	Universités				

Légende ——— : Très concerné - - - - : Concerné ---------- : Peu concerné

Tabl. 5 - Importance du rôle de chacun des acteurs dans la gestion de la situation dégradée.

2.1.4. Contexte réglementaire propre aux cavités souterraines

Les désordres résultant d'instabilités souterraines dépendent très directement des caractères physiques des vides souterrains, de leur environnement géologique et des sollicitations qui peuvent être apportées. Cependant, les modes d'évaluation, la prise en charge et l'indemnisation des dommages dépendent du type de réglementation auxquelles ces mêmes cavités sont soumises.

Ainsi, en matière de vide, on distingue généralement ce qui est naturel (voir chap. 2.2), de ce qui est anthropique c'est-à-dire ouvert par l'homme.

Dans la première catégorie, représentée par exemple par les terrains où les vides karstiques ou les conduits de suffosion apparaissent, le régime de propriété est celui du droit commun où le propriétaire de la surface emporte la propriété du dessus et du dessous (art. 552 du Code civil). En cas de désordre, le règlement des dommages se fait sur la base soit de la prise en charge par le propriétaire ou de son assureur, soit de l'indemnisation dans le cadre d'une procédure dite « catastrophe naturelle ».

Dans la seconde catégorie des vides anthropiques on peut différencier :

- les vides qui ont été constitués pour une utilisation civile ou militaire ancienne (sapes de guerre, ouvrages de protection, de stockage, de transport, etc.).

  Dans la très grande majorité des cas, les propriétaires de la surface sont également propriétaires du sol et du sous-sol, le régime de prise en charge des dommages est alors semblable à celui qui a trait aux vides naturels ;

- les carrières qui sont des exploitations où le propriétaire de la surface est encore propriétaire du sous-sol mais où il est lié avec un exploitant.

  Le régime de police des carrières a évolué depuis une trentaine d'années. Pour l'ouverture d'une exploitation, il est passé de la simple déclaration et de l'autorisation à un rattachement aux ICPE[3] en 1993. Pour la fermeture et les situations résiduelles, avant 1970, aucune disposition réglementaire n'était exigible ; entre 1970 et 1993, elles sont devenues obligatoires et pour les exploitations ouvertes depuis 1993, les termes de fermeture figurent au dossier d'autorisation de l'ICPE et font référence au Code de l'environnement. Les responsabilités des propriétaires et des exploitants dans la prise en charge des dommages peuvent donc être très nuancées en fonction des régimes auxquels les ouvertures et fermetures d'ouvrage ont été rattachées ;

- les mines, qui sont des ouvrages d'extraction d'une substance possédant un intérêt stratégique national, la police est régie par le Code minier.

  Ce code définit précisément les types de substance entrant dans le champ des mines (art. 2 et 3 du Code minier) et les conditions dans lesquelles l'Etat délivre une concession d'exploitation à un industriel.

  Le code minier qui s'intéressait surtout à l'ouverture et à l'exploitation des mines a profondément évolué dans les 15 dernières années pour prendre en compte les situations résiduelles qui se présentent maintenant avec la fin des activités minières. Au terme de l'activité, deux niveaux de désengagement du concessionnaire se présentent. Dans un premier temps, l'arrêt de l'exploitation à travers la procédure

[3] Installations classées pour la protection de l'Environnement loi du 19 juillet 1976.

d'arrêt définitif des travaux où la police des mines fait alors place à la police dite résiduelle. Dans une seconde étape, la renonciation où le concessionnaire renonce à utiliser le titre minier délivré.

La dernière révision du Code minier du 30 mars 1999, consécutive aux importants désordres du Bassin ferrifère lorrain a mis en place un certain nombre d'instruments réglementaires et institutionnels (création de PPRM, création d'une Agence de prévention et de surveillance des risques miniers, clarification des procédures d'indemnisation…) pour mieux prendre en compte les situations d'après mine où l'exploitant a disparu. D'une façon générale, lorsque ce dernier n'existe plus ou ne peut plus être recherché, l'Etat prend en charge les désordres correspondant à un « sinistre minier » dans le cadre de procédures définies dans la loi et les décrets d'application de la loi de mars 1999.

On observe ainsi qu'en fonction de l'utilisation ou de l'origine de la cavité, le propriétaire ou l'exploitant est soumis au Code civil, au Code de l'environnement ou au Code minier, selon des principes qui ont évolué de façon notable dans les dernières décennies. Ceci a une implication directe sur les modes d'indemnisation des dommages et sur la perception du dommage elle-même ; une mauvaise indemnisation ayant des conséquences toujours négatives sur le règlement des situations de désordre.

2.2. CAVITÉS, ÉVÉNEMENTS ET DOMMAGES. CARACTÉRISTIQUES ET TYPOLOGIE

2.2.1. Typologie des cavités

Les cavités souterraines, d'origine naturelle ou anthropique, sont très nombreuses sur le territoire français. Elles peuvent résulter de la dissolution des roches, être le résultat de l'exploitation des matières minérales ou pondérales, mais aussi avoir été creusées pour servir d'abri, de lieu de stockage, de tunnel, etc.

Elles peuvent être distinguées selon leur origine (naturelle ou anthropique), les substances exploitées et les modes d'exploitation.

La présentation ci-dessous retient la distinction des cavités selon leur origine, naturelle ou anthropique et présente pour ces dernières les substances exploitées et le mode d'exploitation.

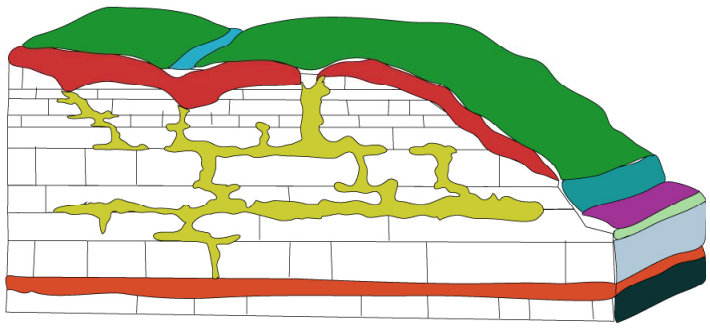


Fig. 5 - Exemple de cavités naturelles dans le calcaire : karst.

a) Les cavités naturelles

La circulation d'eau souterraine dans des terrains solubles comme les roches carbonatées (calcaire, craie…) ou les roches évaporites (gypse, sel gemme…) peut entraîner la formation de cavités de dissolution. La dimension et la géométrie de ces cavités est très variable : les karsts (dissolution des calcaires) ont des réseaux qui peuvent être kilométriques. Il est constitué d'une série de salles et boyaux. Les salles peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres en hauteur et en extension. Ces karsts peuvent être vides, noyés ou comblés par la sédimentation.

Il faut mentionner également l'existence de cavités sous-volcaniques qui correspondent aux vides laissés entre le sol et la coulée, lors de l'épandage de la lave visqueuse.

b) Les cavités anthropiques

Elles peuvent être distinguées selon la substance exploitée, mais également selon l'usage auquel elles étaient ou sont destinées.

- **Distinctions et répartitions des mines et des carrières**

Pour ce qui concerne la nature des substances exploitées, la distinction est faite entre les substances concessibles et non concessibles :

- le Code minier français, définit dans son article (Livre 1er Régime général, Titre 1er de la classification des gîtes de substances minérales, articles 1er, 2, 3 et 4) les minéraux dont l'exploitation est concessible. Ce sont essentiellement les métaux et les matières premières énergétiques. Toutes les exploitations de ces matières premières sont appelées **mines**, qu'elles soient souterraines ou à ciel ouvert. S'agissant de substances stratégiques, le suivi des mines est fortement réglementé et donne ou a donné lieu à la constitution d'un dossier administratif qui permet de connaître leur existence et l'emprise (à partir de plans fournis par l'exploitant) des exploitations. L'extraction minière a un niveau industriel s'étant surtout développé à partir du XIX^{e} siècle, la documentation sur les mines est relativement exhaustive.

  Le sous-sol français a surtout présenté d'importantes ressources en fer, potasse et charbon. Le fer était essentiellement exploité dans le bassin lorrain, la potasse dans la région nord-est (Alsace-Lorraine) et le charbon dans le bassin du Nord, le bassin lorrain, le Centre-Midi et la Provence (fig. 6) ;

- l'exploitation de toutes les autres substances, qu'elle soit souterraine ou à ciel ouvert, correspond à une exploitation de **carrière**. L'exploitation fait l'objet d'une demande d'autorisation d'exploitation. Bien que les formalités administratives permettent de constituer un dossier bien documenté, l'exploitation souvent très ancienne (certaines cavités datent du Moyen-Âge) a pour conséquence l'oubli de l'emplacement et même de l'existence des carrières. Elles correspondent à l'exploitation des matériaux non concessibles, le plus souvent des calcaires, mais aussi du gypse, de l'ardoise des argiles, etc.

  De telles exploitations étaient initialement entreprises en dehors de l'enceinte des villes, mais, celles-ci s'étant considérablement développées, les vides résiduels se

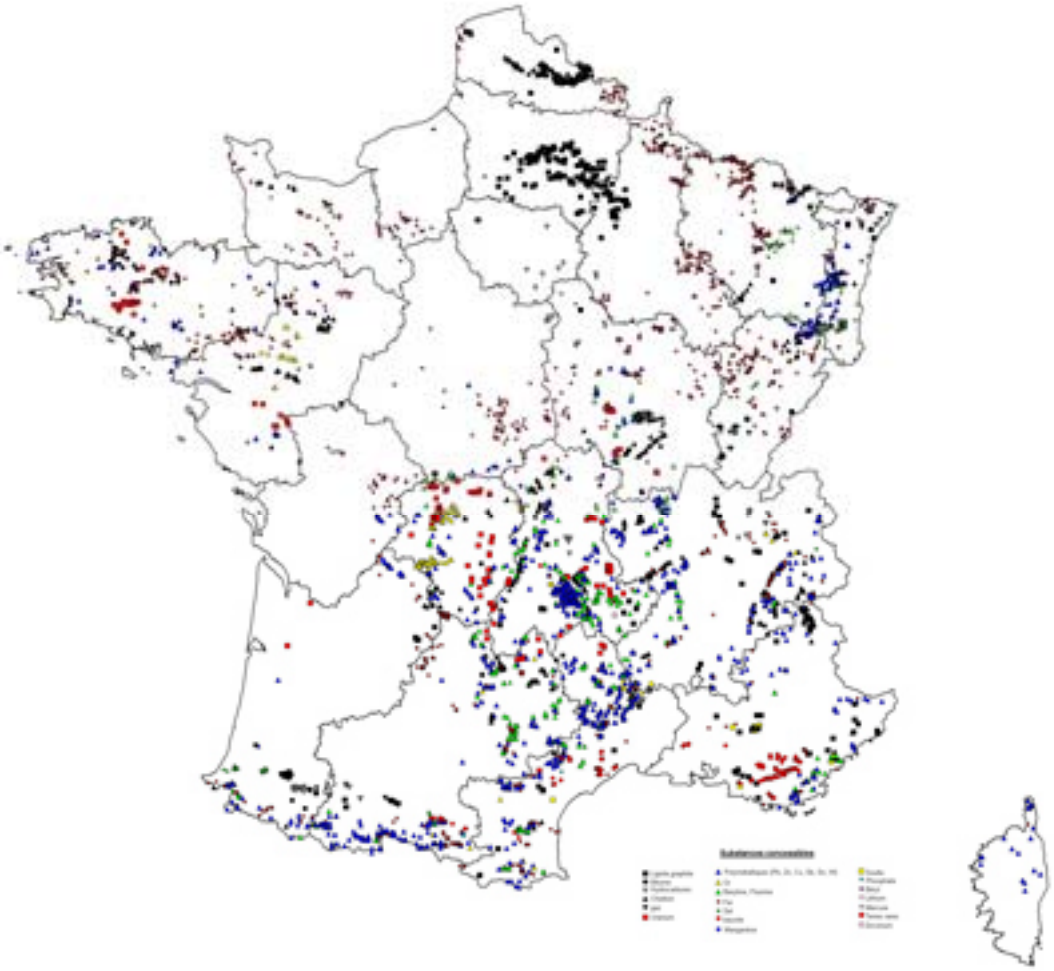


Fig. 6 - Répartition des substances minières en France (source : BRGM).

sont progressivement trouvés inclus dans la zone urbaine. Elles se situent préférentiellement le long des voies navigables, dans les vallées permettant des accès directs aux bancs exploités (calcaire Lutétien de l'Oise, tuffeau de la vallée de la Loire).

Aucune région de France n'est totalement dépourvue de ces anciens vides souterrains mais leur concentration est parfois impressionnante dans certains départements, lorsque les conditions d'exploitation et la qualité du matériau y étaient particulièrement favorables.

La carte ci-dessous montre l'importance des cavités (fig. 7). Cependant, réalisée à partir d'une enquête, elle est incomplète. On notera par exemple en Seine-Maritime l'absence de cavités déclarées, alors que leur présence y est notoire.

En dehors de ces régions assez bien connues que sont l'Ile-de-France (calcaire et gypse), la région Nord Pas-de-Calais (pierre à bâtir, pierre à chaux), la Basse Normandie (pierre à bâtir), l'Aquitaine-Poitou-Charentes (pierre à bâtir, pierre à chaux), les Pays de Loire (pierre à bâtir), de nombreuses exploitations ont laissé des cavités disséminées sur le territoire national : pierre de l'Oise, calcaire de l'Aisne, de Champagne ou de la Côte d'Or, gypse du Jura… Dans ces dernières régions, les carrières abandonnées sont beaucoup moins connues et leur existence est parfois même ignorée.

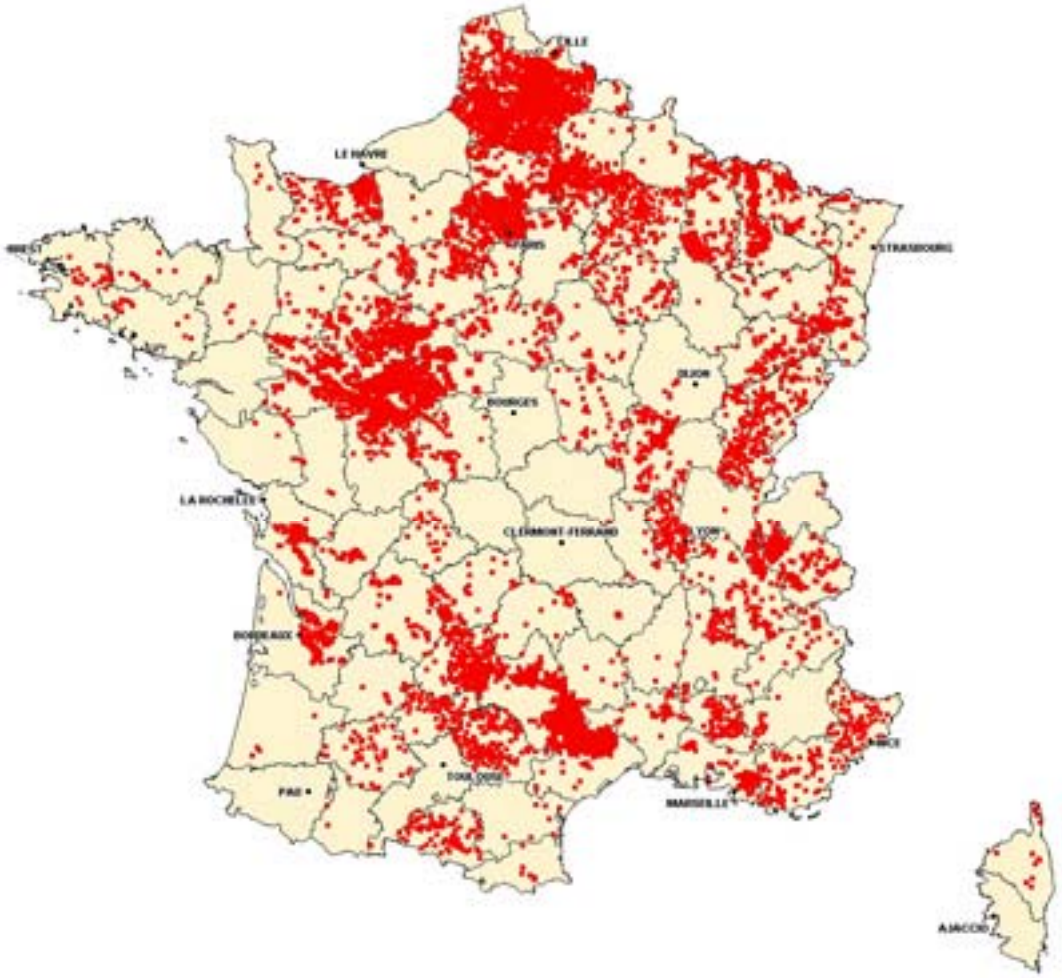


Fig. 7 - Répartition des carrières souterraines en France (source : BRGM).

- **Origine et caractéristiques des exploitations minières ou des carrières**

Les risques liés à la présence de mines ou carrières souterraines, qu'elles soient abandonnées ou en activité, dépendent en particulier de la méthode d'exploitation choisie par l'entrepreneur. Nous distinguons :

- les exploitations permettant un **traitement systématique des vides** créés par l'exploitation, soit par remblayage, soit par foudroyage, soit par une convergence naturelle des terrains qui referment progressivement ces vides ;
- les exploitations **laissant**, après l'arrêt définitif des travaux, **des vides importants** susceptibles d'évoluer dans le temps.

Parmi les méthodes d'exploitation laissant des vides résiduels, les principales sont :

- l'exploitation par **chambres et piliers abandonnés** : cette technique est classiquement utilisée dans les gisements sédimentaires et parfois dans les gisements en amas. On abandonne des piliers de minerai pour soutenir les terrains surincombants (fig. 8). Les chambres induites par l'extraction du matériau sont

laissées vides à la fin de l'exploitation. La hauteur des vides peut atteindre 17 m dans les anciennes carrières de la région parisienne. Cette technique peut être menée sur un ou plusieurs niveaux superposés ;

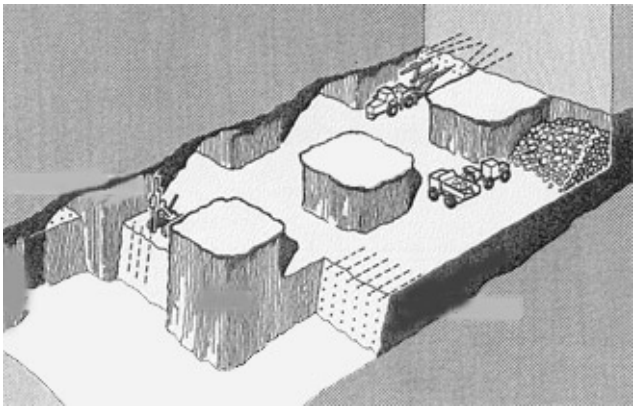


Fig. 8 - Exploitation partielle par chambres et piliers abandonnés (source : Atlas Copco).

- les exploitations par **chambres magasins** : elles consistent à abattre le matériau exploité et à l'emmagasiner provisoirement dans le chantier afin de conforter les parois de la chambre. En fin d'exploitation, la chambre est laissée intégralement vide (fig. 9) ;

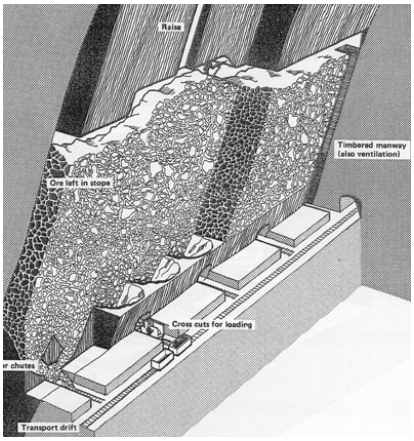


Fig. 9 - Exploitation partielle par chambres magasins (source : Atlas Copco).

- les exploitations par **puits et chambres** (fig. 10) : ce type d'exploitation est typique des marnières. Ces exploitations sont réparties en fonction des besoins immédiats du marnage. La grande majorité des marnières a été ouverte aux XVIII et XIX^{e} siècles. Les clauses des baux faisant obligation de marner régulièrement les champs, elles ont été ouvertes en grand nombre : à titre d'exemple, sur la commune d'Yvetot (Seine-Maritime) 140 marnières ont été dénombrées (enregistrées depuis 1830). Souvent exploitées par puits et chambres, elles sont creusées à la verticale des champs. Les puits traversent un recouvrement qui peut atteindre parfois 60 m. En fin d'exploitation elles sont fermées par un « bouchon » puis sont le plus souvent oubliées. On ne les redécouvre qu'à la suite de leur effondrement ou de celui du bouchon ;

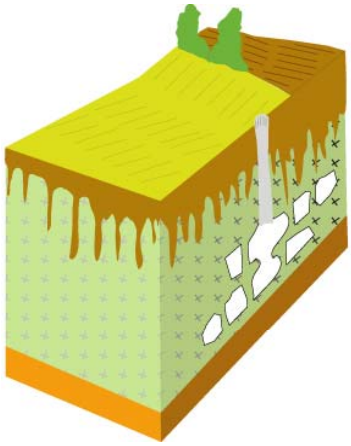


Fig. 10 - Exploitation par puits et chambres : une marnière.

- l'exploitation par **dissolution** : hormis certaines mines qui exploitent le sel gemme sous sa forme cristalline, la plupart des exploitations de sel l'extraient en pompant l'eau que l'on a préalablement injectée dans le sous-sol qui s'est saturé au contact des roches salines. L'eau douce provient de la surface ou des niveaux saturés traversés par le sondage, les eaux descendantes pouvant créer des dissolutions importantes dans les terrains qui surplombent la couche exploitée. L'eau saturée est pompée en surface, laissant une poche de dissolution dans l'horizon salifère. La présence d'eau dans cette cavité peut favoriser l'altération des terrains sus-jacents, surtout lorsqu'il s'agit de marnes, et entraîner une augmentation du volume de la cavité susceptible de donner lieu, suivant la nature et l'épaisseur des terrains de recouvrement, à un affaissement ou à un effondrement de la surface.

Parmi les méthodes d'exploitation garantissant un traitement intégral des vides, les principales sont :

- les exploitations par **chambres (ou bandes) et piliers avec torpillage des piliers ou remblayage des chambres** : très similaire à la méthode d'exploitation par chambres et piliers abandonnés dans sa première phase, cette technique permet un traitement intégral des vides créés lors de l'exploitation. La suppression des vides est assurée par le remblayage des chambres ou l'effondrement des piliers résiduels (fig. 11) ;

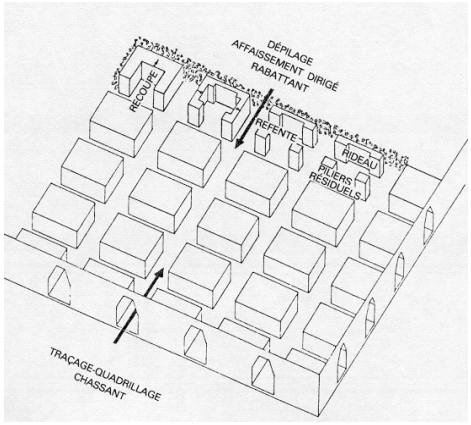


Fig. 11 - Principes de la méthode d'exploitation par piliers foudroyés (source : INERIS).

- les **exploitations par tailles** : ce type d'exploitation est caractérisé par une allée qui progresse parallèlement à elle-même au sein de la couche à exploiter. Cette allée est maintenue ouverte au moyen de lignes de soutènement constituées de piles, d'étais ou d'étançons qui progressent au fur et à mesure de l'abattage. La partie déjà exploitée, appelée arrière-taille, est soit foudroyée, soit remblayée (fig. 12). La majorité des bassins houillers français ont été exploités par cette technique ;

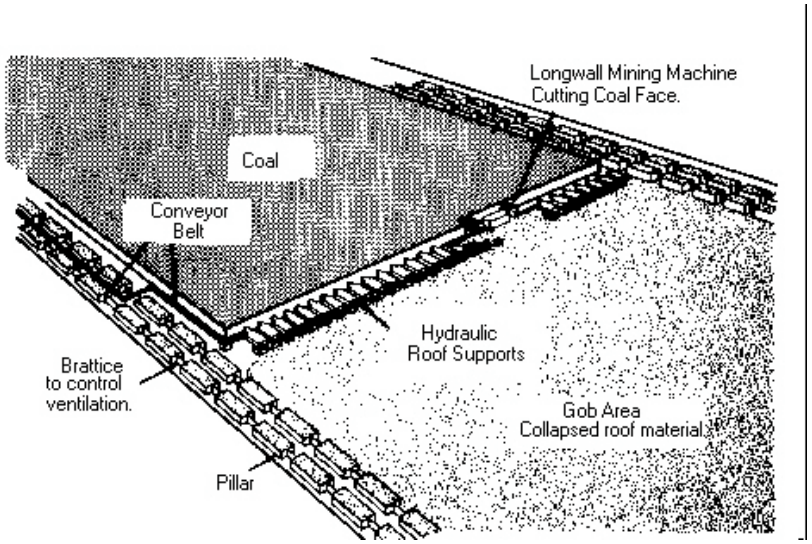


Fig. 12 - Principes de la méthode d'exploitation par longue taille (source : Atlas Copco).

- les exploitations **par tranches** : elles sont essentiellement utilisées dans les gisements en amas ou dans les couches épaisses ou très pentées des gisements sédimentaires. On distingue les tranches horizontales pratiquées dans les gisements très pentés, des tranches inclinées parallèles aux épontes qui sont plus fréquemment appliquées aux gisements à pendage faible (inférieur à 30°).

- **Les autres usages des cavités**

De nombreuses carrières ont été réutilisées, ou bien des cavités ont été creusées spécialement, à des fins de stockage ou de protection.

Leur répartition dépend à la fois de la lithologie, qui doit se prêter à l'excavation, de la topographie (la nécessité de creuser des caches est d'autant plus grande que la topographie est plate) et de l'histoire.

Ce sont les **caves**, **les habitations troglodytiques**, les divers **ouvrages de génie civil** tels que aqueducs tunnels ainsi que les « muches » et les sapes, ces deux dernières font l'objet d'une présentation plus approfondie ci-dessous.

Dans la Somme la plupart des villages possèdent des **« muches »,** qui sont des souterrains refuges. Ils ont été creusés principalement dans la deuxième moitié du XVI^{e} siècle et dans la première moitié du XVII^{e} siècle, durant les guerres de religion et les conflits avec l'Empire autrichien et l'Espagne, possesseurs de l'Artois. Creusées à

une profondeur généralement comprise entre 10 et 15 m, elles ont eu pour fonction d'abriter les biens, les récoltes et le bétail durant les hostilités.

L'accès de ces cavités se situe parfois dans l'église ou sur une butte qui pouvait être défendue. Il est en général maçonné et se présente sous forme d'un escalier ou d'un plan incliné. Ces accès ont le plus souvent été bouchés ou détruits et sont donc oubliés. Souvent les réseaux ne sont plus accessibles que par des cheminées d'aération ou par la communication avec des puits à eau.

Les cavités peuvent être très développées : constituées de « rues » longues de plusieurs dizaines de mètres et larges d'environ 1,5 m, sur lesquelles s'ouvrent de nombreuses chambres (le nombre dépasse la centaine pour les plus grands réseaux). Chacune de ces chambres appartenait à une famille qui y entassait ses biens, animaux compris. Les dimensions de ces chambres sont très variables, la surface au sol peut atteindre 20 m².

Les sapes (fig. 13) sont des cavités creusées au cours de la guerre 1914-1918 dans les départements du Nord, du Pas-de-Calais, de la Somme, de l'Oise et de la Marne. Ce sont des ouvrages creusés de part et d'autre de la ligne de front permettant aux troupes de s'abriter ou de tenter la pénétration des lignes ennemies. Elles sont en général creusées dans des zones à topographie plate, et sont constituées par une tranchée de surface, une galerie d'accès et une chambre ou salle souterraine. Les tranchées ont une profondeur et une largeur de 1 à 2 m. Les galeries d'accès (1 m x 2 m) s'enfoncent rapidement en marquant parfois des paliers jusqu'à la (aux) salle(s) souterraine(s) dont la taille est variable et qui constitue(nt) souvent un réseau relié par des galeries.

Elles sont généralement situées à proximité des lignes de front stabilisées. Leur situation géographique est d'autant plus difficile à déterminer que leurs accès ont été rebouchés. L'exploitation de photos aériennes de l'époque peut permettre d'en situer quelques-unes mais cela reste malgré tout une tâche très difficile.

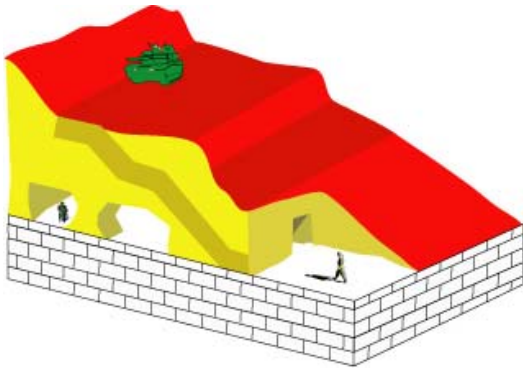


Fig. 13 - Sape.

2.2.2. Typologie des phénomènes

On distingue des phénomènes **localisés** ou d'extension limitée en surface (effondrements localisés) ou, au contraire, les phénomènes **de grande extension** en surface (affaissements, effondrements en masse, voire généralisés).

a) Phénomènes localisés

D'une manière générale, on parle d'**effondrement** lorsque l'abaissement de la surface se fait de manière **discontinue** dans le **temps** (événement rapide et brutal) et/ou dans l'**espace** (formation de fractures, de figures d'arrachement, de cratères...).

Les effondrements se caractérisent par un mouvement gravitaire à composante essentiellement verticale qui peut atteindre une amplitude sensiblement égale à la hauteur de la cavité sous-jacente ou de l'ouverture de la couche exploitée. Ce sont des phénomènes très spécifiques qui ne peuvent affecter que les exploitations souterraines exploitées par une technique permettant la persistance de vides souterrains.

On différencie classiquement différents types d'effondrement en fonction du mécanisme initiateur : rupture du toit d'une cavité (ou fontis), rupture d'un pilier d'exploitation ou rupture d'un orifice d'exploitation débouchant au jour.

- **Fontis**

On appelle **fontis**, une instabilité localisée qui s'initie par l'éboulement du toit d'une cavité souterraine d'assez faible extension et située à faible profondeur. Le phénomène, qui ne peut se stabiliser dans la configuration d'une cloche stable par effet voûte, finit par déboucher brusquement en surface en créant un « entonnoir » dont le diamètre peut varier de quelques mètres à quelques dizaines de mètres (fig. 14). Le terme de fontis désigne aussi bien le mécanisme d'effondrement que le cratère classique observé en surface.

Les fontis se développent préférentiellement dans des zones où le toit présente de larges portées non soutenues (carrefours de galerie, piliers ruinés, chambres vides ou que partiellement remblayées). La présence d'un recouvrement peu épais constitué de matériaux peu massifs et faiblement résistants (ex. : sable, marnes…) facilite la propagation de l'instabilité vers la surface et donc l'apparition du fontis.

Fig. 14 - Fontis à Chanteloup-les-Vignes en 1991 (source : Inspection Générale des Carrières de Versailles).

Géométrie et dimension

Le diamètre et la profondeur des fontis sont de l'ordre de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres et dépendent de la profondeur, de la hauteur ou du volume des vides, ainsi que de la nature des terrains de couverture et de leur coefficient de foisonnement.

Causes et mécanisme de rupture

Ce type de désordre est caractéristique des exploitations partielles à faible profondeur et des cavités naturelles. Il est fréquent et dangereux car il peut se produire au-dessus de tout vide même d'extension moyenne (anciennes galeries, puits, karst) et survient d'une façon soudaine et sans signe précurseur visible.

Les fontis se produisent le plus souvent au carrefour des galeries où la distance entre les supports est la plus grande, ce qui favorise la chute des bancs du toit et donne naissance à une « cloche de fontis » qui remonte progressivement à la surface par l'éboulement des terrains constituant le toit.

Lorsque un ou plusieurs piliers s'écroulent, le fontis s'aggrave. On parle alors d'effondrement localisé. Celui-ci est caractérisé par un diamètre plus important et par des bords d'effondrement présentant le plus souvent des plans d'arrachement verticaux.

Conséquences en surface

Du fait de l'extension du phénomène, les conséquences en surface sont en général limitées mais elles peuvent s'avérer extrêmement graves si elles se localisent sous une construction ou sous toute autre infrastructure. On peut ainsi citer l'accident du massif de l'Hautil en 1991 qui a fait un mort, ainsi que de nombreux accidents qui affectent particulièrement les constructions en Normandie. Ces derniers sont liés à la présence de nombreuses marnières.

Les conséquences au jour d'un entonnoir de fontis (phénomène généralement brutal) sont souvent limitées à une extension relativement faible (quelques mètres à quelques dizaines de mètres au maximum). Elles peuvent néanmoins s'avérer graves si elles se localisent sous une construction ou une infrastructure sensible (fig. 15).

- **Effondrement localisé par rupture de pilier**

Les effondrements localisés peuvent aussi résulter d'un mécanisme complexe de rupture des piliers. Lorsque le taux de défruitement (volume exploité sur le volume total avant exploitation) est trop important, certains petits piliers, incapables de supporter le poids du recouvrement, peuvent se rompre en entraînant dans leur ruine les terrains sus-jacents (fig. 16).

Fig. 15 - Venue au jour d'un fontis dans un secteur urbanisé de la commune (source : INERIS).

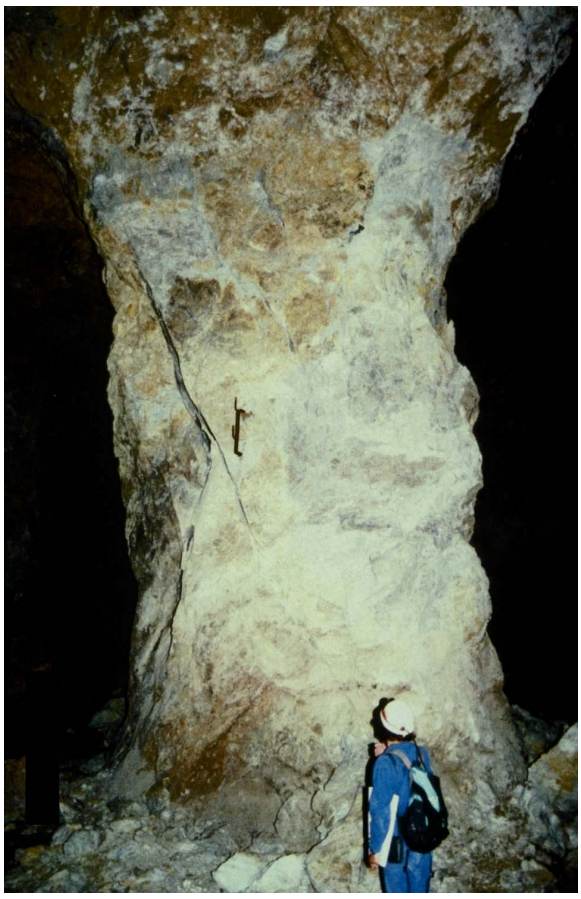


Fig. 16 - Exemple de pilier ruiné. Carrière de gypse de Roquevaire (source : INERIS).

- **Effondrement d'orifice d'exploitation**

Les puits, descenderies ou galeries d'accès abandonnés, encore ouverts ou simplement recouverts, présentent des risques évidents pour les populations et les activités humaines se situant dans leur zone d'influence directe. Les ouvrages remblayés de manière non satisfaisante par les anciens peuvent également, dans certaines configurations spécifiques, subir une remobilisation brutale des remblais susceptible d'affecter la stabilité de la surface.

Outre le risque de pénétration accidentelle ou forcée induite par la présence des orifices non fermés, ceux-ci présentent également un risque d'effondrement (fig. 17).

Fig. 17 - Exemple d'orifice minier non sécurisé.

Les effondrements de puits ou de descenderies se matérialisent généralement par l'apparition soudaine de fontis dont le diamètre varie classiquement de quelques mètres à quelques dizaines de mètres. Dans une configuration exceptionnelle (présence de terrains boulants proches de la surface), un cas particulier a mis en évidence un entonnoir d'effondrement dont le diamètre avoisinait les 100 m (Poirot, 1991) (fig. 18).

L'effondrement de la surface qui entoure un orifice minier peut résulter :

- du débourrage de la colonne de remblai (remobilisation brutale et dynamique des remblais qui descendent brusquement et s'engouffrent dans les accrochages du puits et les anciens travaux, générant ainsi un effondrement de la surface) ;
- de la rupture de la fermeture de l'orifice. Certains anciens puits ou galeries ont, en effet, été obturés d'une manière artisanale ne présentant ainsi aucune garantie de pérennité (platelages de bois...) ;
- de la rupture du revêtement du puits ou de la galerie (fatigue du revêtement et/ou augmentation de la poussée des terrains encaissants) ;
- de la rupture des terrains environnants (propagation jusqu'en surface de fontis initiés au toit d'une galerie peu profonde...).

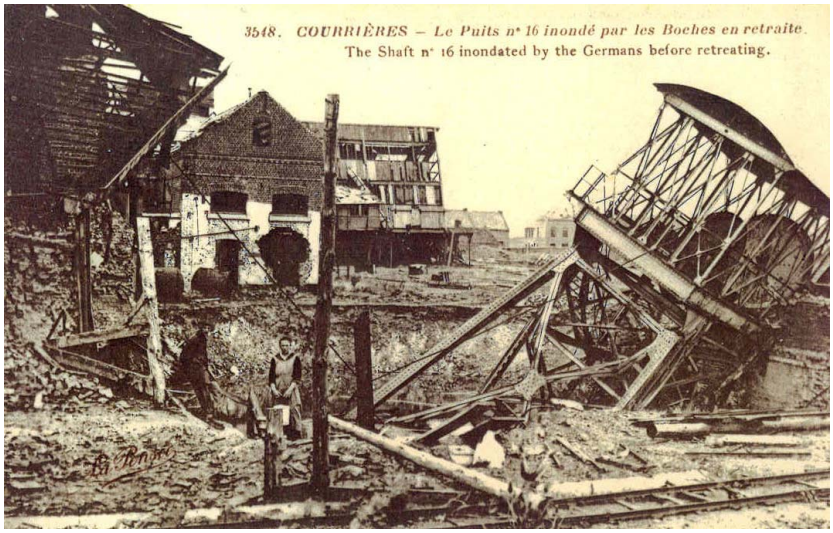

3548. COURRIÈRES – Le Puits n° 16 inondé par les Boches en retraite.
The Shaft n° 16 inondated by the Germans before retreating.

Fig. 18 - Effondrement du puits n° 16 de Courrières après « sabotage » du cuvelage au droit de l'aquifère de surface. Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais.

- **Écroulement de falaises sous-minées**

De longue date, les meilleurs bancs des massifs calcaires constituant les pans de falaise ont été exploités comme source de pierre à bâtir ou, tout simplement, comme lieux d'habitation ou de stockage.

Partout où les populations les plus déshéritées pouvaient éviter le coût de la construction d'un édifice et, ainsi, préserver l'espace cultivable, elles ont creusé dans le sol ou la masse d'un escarpement toutes sortes de cavités qui servaient alors d'habitations, de caves ou de remises. De telles habitations sont encore très répandues en France, notamment dans les vallées de la Seine ou de la Loire.

On observe parfois des superpositions de caves qui peuvent s'enfoncer jusqu'à 100 m sous le plateau surplombant et compromettre la stabilité de la falaise dans laquelle elles ont été creusées. De plus, pour relier entre eux les différents niveaux de galeries, l'habitant a généralement aménagé des terrasses et des chemins d'accès dans la falaise dont les matériaux de bordure étaient déjà altérés.

Actuellement de nombreux réseaux de galeries, plus ou moins denses, parfois abandonnés mais le plus souvent réutilisés comme habitations troglodytiques, caves à vin ou champignonnières, sont présents à la base des falaises qui bordent notamment les vallées de la Vienne, de la Loire, de l'Oise, de la Dordogne ou de la Seine. On appelle falaises sous-minées ou sous-cavées, les falaises qui présentent à leur base ou dans leur flanc des vides qui altèrent leur stabilité.

L'effondrement des cavités et l'écroulement des falaises sous-cavées peuvent intéresser une masse rocheuse considérable à l'échelle du site (plusieurs dizaines de milliers de m^3). Un tel accident survenu à Rochecorbon (Indre-et-Loire) en 1933, a mobilisé 30 000 m^3 de roche, détruisant quatre maisons et faisant plusieurs victimes.

- **Phénomènes spécifiques aux cavités à dissolution**

La circulation des eaux souterraines dans les roches carbonatées (calcaire, craie, …) ou bien dans le gypse ou le sel donne naissance à des galeries souterraines dont les dimensions sont parfois importantes. Les cavités sont d'autant plus susceptibles de s'effondrer qu'elles sont situées dans des terrains de qualité mécanique médiocre.

Fig. 19 - Effondrement d'une cavité naturelle par dissolution du gypse (Bargemont, Var) (source : MATE).

Géométrie et dimension

L'effondrement de ces cavités provoque en surface des dépressions topographiques fermées (dolines) et des fontis. Leur géométrie et leurs dimensions varient en fonction de la taille des cavités, de leur profondeur et de la nature des terrains de recouvrement. Certains peuvent atteindre des tailles importantes, tel que Bargemont (Var) (fig. 19), où le fontis survenu en surface a un diamètre de 100 m et représente un volume de 60 000 m^3 d'éboulement.

Causes et mécanisme de rupture

La dissolution et la dégradation progressive des matériaux causées par la présence de l'eau sont à l'origine de ces événements. Certains fontis remontent de grandes profondeurs (200 m à Malbosc, près d'Alès, Gard), en raison d'un lessivage des matériaux éboulés, par les eaux souterraines.

b) Phénomènes de grande ampleur

- **Effondrement en masse, voire généralisé**

L'effondrement en masse caractérise une rupture franche des terrains de surface résultant de la ruine des travaux sous-jacents sur une surface importante. Les mécanismes susceptibles d'initier ce type de phénomène diffèrent suivant le type d'exploitation et la nature du massif environnant (rupture du stot de surface ou pilier couronne, rupture d'un parement dans une exploitation filonienne en dressant, rupture du toit dans le cas d'exploitation par chambres vides ou par piliers abandonnés lorsque ces derniers sont à l'état de ruine).

On parle d'effondrement « généralisé » lorsque l'effondrement affecte une vaste surface.

Contrairement aux effondrements localisés, les effondrements de surface peuvent survenir au surplomb d'exploitations assez profondes (jusqu'à 200 m) pour peu que l'ouverture et l'extension latérale des travaux soit suffisamment importantes au vu de la nature et de l'épaisseur des terrains de recouvrement.

Conséquences des effondrements en masse en surface

Beaucoup plus rares que les affaissements, les effondrements peuvent présenter des conséquences plus graves. Ils peuvent, en effet, engendrer la destruction de bâtiments ou d'infrastructures (voire exceptionnellement la perte de vies humaines) lorsqu'ils se développent dans des zones sensibles ou urbanisées, ce qui, heureusement, n'est que rarement le cas.

Les manifestations au jour des effondrements en masse sont très variables. Parfois limitées à des cratères guère plus importants qu'un entonnoir de fontis, ils peuvent également affecter des zones étendues de plusieurs hectares ou dizaines d'hectares (fig. 20).

Fig. 20 - Conséquences en surface d'un effondrement en masse. Carrière de calcaire de Crouzille (37) (source : INERIS).

Les phénomènes peuvent être soit brutaux (ou spontanés) soit progressifs. Les effondrements spontanés sont les plus destructeurs. Ils sont accompagnés d'une importante libération d'énergie qui se manifeste notamment sous la forme d'ondes sismiques. Outre l'éboulement des travaux souterrains et la descente brutale des terrains de surface (susceptible de détruire les infrastructures au jour), l'effet de souffle d'air déplacé par le volume effondré (souvent plusieurs milliers de m^3) peut être dévastateur. Lors de l'effondrement de la mine de fer de Rochonvilliers (1919), certains ouvriers au fond furent ainsi projetés à plus de 70 m. Des matériaux peuvent également être projetés des puits et galeries non obturés, mettant ainsi en danger les habitations environnantes.

Fort heureusement, ce type de phénomène n'est que très exceptionnel car il nécessite la combinaison de facteurs de sites spécifiques (présence de petits piliers élancés, couche raide dans le recouvrement...). Dans de nombreux cas, la ruine des vides souterrains se fait pas étapes successives et n'induit qu'un abaissement progressif de la surface. Ceci n'empêche toutefois pas l'apparition de fractures ou de figures d'arrachement au niveau du sol susceptibles d'engendrer d'importantes dégradations aux bâtiments ou infrastructures situées en surface.

- **Affaissement**

Un affaissement est une dépression topographique en forme de cuvette due au fléchissement, souple et progressif, des terrains sus-jacents à une exploitation souterraine (d'après Guide Méthodologique pour l'arrêt des exploitations minières souterraines. Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie. INERIS-DRS-01-25750/R01 2001).

Mécanismes et description du phénomène en surface

Les éventuels phénomènes d'instabilité susceptibles d'affecter les terrains de surface à l'aplomb des travaux souterrains prennent naissance dans les travaux souterrains (Piguet et Wojtkowiak, 2001). Ils se manifestent par la dislocation et la chute du toit ou des parements des cavités. Les terrains s'éboulent en blocs de tailles et de formes variables qui s'entassent aléatoirement en laissant entre eux des vides résiduels. Une fois éboulés, les terrains occupent, de ce fait, un volume plus important que celui qu'ils occupaient dans leur état naturel initial : c'est le phénomène de foisonnement.

Lorsque le foisonnement est insuffisant pour combler le vide exploité, les terrains sus-jacents viennent s'appuyer sur les terrains foudroyés en gardant leur continuité. Ils se tassent progressivement en compactant la partie foudroyée.

Le tassement progressif des terrains constituant le recouvrement se manifeste en surface par un abaissement de la surface qui se poursuit jusqu'à l'établissement d'un nouvel état d'équilibre stable dans le temps.

On parle d'**affaissement**, au sens large, lorsque le réajustement de la surface se fait de façon **souple et progressive**, en formant une dépression topographique, **sans rupture** cassante importante, avec une allure de **cuvette** (fig. 21). Généralement, ce type de manifestation ne concerne que les exploitations situées à grande profondeur et présentant des extensions horizontales importantes.

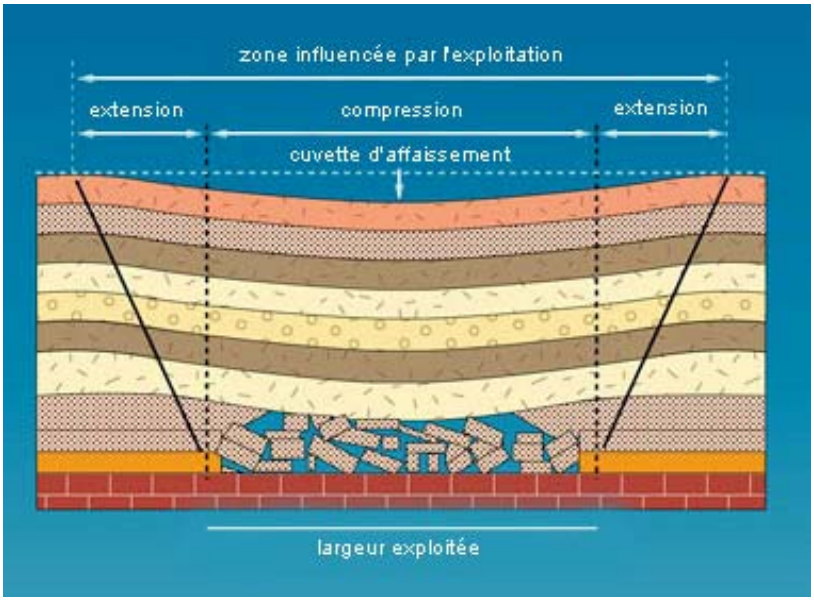


Fig. 21 - Coupe schématique d'une cuvette d'affaissement (source : INERIS).

Le déplacement vertical mesuré au centre de la cuvette ne peut excéder une valeur appelée affaissement maximal et notée A_m. Cette valeur dépend notamment de l'ouverture W des travaux souterrains, de la nature du traitement des vides (persistance de vides, foudroyage, remblayage...) ainsi que de l'épaisseur et de la nature des terrains de recouvrement.

Conséquences des affaissements en surface

Généralement, les conséquences les plus dommageables (outre les modifications de la topographie de surface susceptibles d'engendrer des risques d'accumulations d'eau au niveau des points bas) sont celles qui affectent la stabilité des bâtiments et infrastructures de surface (fig. 22).

En terme de dégradation du bâti, ce ne sont pas tant les affaissements à proprement parler (déplacements verticaux) que les déformations du sol (déplacements horizontaux, flexions...) qui sont les plus à craindre. Les déformations horizontales sont soit des raccourcissements, correspondant aux zones en compression situées vers l'intérieur de la cuvette par rapport au point d'inflexion de la courbe, soit des extensions, correspondant aux zones en traction situées vers l'extérieur de la cuvette.

Les dommages consécutifs aux extensions ou raccourcissements sont en relation avec :

- la longueur des ouvrages qui les subissent (les bâtiments longs sont les plus sensibles) ;
- leur position par rapport à la cuvette (ceux qui sont proches du point d'inflexion de la courbe d'affaissement sont les plus vulnérables) ;
- la nature du sol et des fondations ;
- les tolérances des constructions (présence de joints de dilatation, déformabilité des matériaux...).

Fig. 22 - Inclinaison d'une maison sous l'effet d'un affaissement minier dans le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. Le lampadaire récemment installé et situé au milieu de la photo indique la verticale (photo prise dans les années 1960) (source : INERIS).

Si elles peuvent s'avérer importantes durant la phase d'exploitation, les déformations induites durant la phase post-exploitation sont en général très limitées. Les conséquences induites sur la stabilité des terrains et des infrastructures de surface sont donc, dans la plupart des cas, négligeables, voire nulles.

2.2.3. Dommages

Si l'étude des échelles de dommages a mis en évidence un certain nombre d'entre eux, il est toutefois nécessaire d'identifier les dommages propres aux cavités souterraines.

Pour cela, il a paru intéressant de présenter quelques cas types afin de décrire ce que les dommages dus aux cavités souterraines ont de particulier.

Outre les dommages physiques décrits habituellement, tels que les dommages aux personnes ou aux biens, sont également évoqués les dommages induits tels que les dommages fonctionnels, les dommages sociaux ou les difficultés d'aménagement.

Par ailleurs, l'appréciation d'un dommage ne peut se faire indépendamment de son contexte, c'est pourquoi quelques éléments importants sont rapportés. La culture développée ou non autour des cavités est essentielle. Elle se traduit par exemple par la connaissance des cavités et le vécu d'évènements analogues, la facilité des procédures d'indemnisation, l'attention apportée par les autorités aux sinistrés, etc.

L'analyse des modes de description et d'évaluation des dommages est brièvement abordée. Elle a pour objectif d'identifier les travaux à mener dans le cadre de la réalisation de l'échelle de dommages.

La méthodologie développée pour évaluer les dommages est présentée plus loin, au chapitre 3.2.

a) Présentation de quelques cas

Les dommages sont présentés pour différentes cavités telles que carrières en pied de falaise en Touraine, carrières et caves dans la Somme et dans l'Oise, marnières en Normandie et mines de fer en Lorraine.

- **Picardie**

Nature des cavités et connaissances

Les cavités souterraines de la craie du plateau picard sont extrêmement nombreuses, le plus souvent d'origine anthropique : marnières, carrières souterraines, souterrains-refuges, galeries et abris de la guerre de 1914-1918. Plus rarement, elles peuvent également être d'origine naturelle.

La mémoire des exploitations ou des souterrains est le plus souvent perdue et leur situation géographique est mal connue, voire inconnue. Leur reconnaissance par la géophysique est souvent très difficile.

Lorsque les cavités s'effondrent, elles donnent lieu à l'apparition de fontis en surface, d'autant plus dangereux que la présence des cavités en cet endroit est ignorée.

Les évènements et les dommages

Deux épisodes pluvieux intenses en une décennie, 1994 et 2000-2001 ont causé d'importants dommages. Particulièrement importants les évènements de 2000-2001 ont été retenus pour illustrer cet exposé.

La remontée très importante de la nappe phréatique (de l'ordre de 20 m) a induit un grand nombre de mouvements de terrains dus aux cavités dans les arrondissements de Montdidier (Somme) et de Clermont (Oise), comme le montre le tableau ci-dessous[4] :

	Nombre d'événements survenus depuis début 2000						Total 2000-2002	Total recensé
	Effondrement	Affaissement	Chute de toit	Glissement	Chute de blocs	Tassement		
Oise	316	69	125	5	0	1	516	**556**
Somme	3 208	256	22	17	6	13	3 522	**3 624**
Total	3 524	325	147	22	6	14	4 038	**4 180**
%	*87,27*	*8,05*	*3,64*	*0,54*	*0,15*	*0,35*	*100*	

[4] Bouchut J., Vincent M. avec la collaboration de Saint-Omer P., Rouxel-David E., Jacquot P., Caudron M., Zornette N., Demangeon G., Cordonnier G. - Recensement et analyse des mouvements de terrain survenus en 2000 et 2001 dans les arrondissements de Montdidier (Somme) et Clermont (Oise). BRGM/RP-51763-FR, 2002.

Les dommages qu'ils ont entraînés sont très importants, puisque, par exemple sur ces seuls arrondissements, plus de 300 habitations ont été sinistrées. Cinquante sept d'entre elles ont été évacuées et 46 ont subi des dégâts importants (fissuration importante et/ou gros-œuvre affecté). De plus, 18 bâtiments publics ont été endommagés ainsi qu'une centaine de dépendances, garages, hangars… Une centaine de mouvements de terrain ont affecté les routes et les trottoirs.

Dans le seul village de Tricot, 139 habitations ont été « fragilisées » sur les 630 que compte le village et six se sont effondrées. Les caves ont été envahies par près de 4 m d'eau.

Sur l'ensemble du plateau picard, 1 800 des 27 000 habitants du « secteur » sont touchés[5], soit 7 % de la population.

Sous la ligne TGV, des fontis se sont ouverts. La consolidation et la prospection des cavités ont entraîné d'importantes perturbations dans l'exploitation de la LGV pendant un peu plus de trois mois. La circulation a été ralentie sur trois zones, totalisant 27,3 km. Le coût des études et des travaux, s'élève à plus de 30 M€ pour la SNCF. Ce montant ne comprend pas les pertes d'exploitation ni les coûts indirects tels que retards, pertes d'images, etc.

Ces évènements succèdent à l'effondrement de l'hiver 1993-1994 au cours duquel un fontis s'est ouvert sous la voie du TGV au passage d'une rame à 300 km/h en gare de TGV-Haute-Picardie[6]. La rame a déraillé mais ne s'est pas couchée sur la voie.

Lors du même hiver, 110 fontis avaient été dénombrés dans les emprises de la LGV et ses abords immédiats. La recherche de cavités et leur traitement se sont poursuivis jusqu'en mai 1994. Pendant cette période, les trains ont été ralentis de 300 km/h à 80 km/h ou 170 km/h sur plus de 43 km. Parallèlement des mesures spécifiques de surveillance ont été appliquées : tournées en hélicoptère deux fois par semaine, tournées de surveillance à pied, mesures diverses, d'abord journalières puis hebdomadaires et mensuelles après 1995.

Le contexte et les conséquences des dommages

L'ensemble des informations présentées ci-dessous sont extraites des coupures de presse suivantes : L'Oise matin, 3 mai 2001 ; Le monde, 8 mai 2001.

Connaissance du phénomène : les phénomènes d'effondrement de cavités liés à la remontée de la nappe étaient totalement inconnus sur le plateau picard : *« de mémoire de Tricotois il n'y a jamais eu d'eau dans les caves*[7] ». Les habitants ont été très surpris car « *ici, il n'y a ni rivière ni source particulière. Et on est sur un plateau. Les habitants ne comprennent pas*[8] ».

Dommages induits : pour les personnes, ce sont la peur et la perte de sommeil qui sont mentionnées. Pour les biens, ce sont les accès coupés parce que les routes et les chemins ont été emportés, l'impossibilité d'utiliser les terrains de foot en raison de

[5] Le monde, 8 mai 2001.
[6] Poitout Marie-Josephe, Piraud Jean - Origine et traitement des fontis survenus sur le plateau Picard le long de la LGV-Nord. *In* Après-mine 2003, 5-7 février 2003, Nancy.
[7] L'Oise matin, 3 mai 2001.
[8] ib.

risques d'affaissements, les craintes de pollution de la nappe par une décharge d'ordures ménagères et de déchets industriels[9], les ralentissements de la ligne TGV.

Relogement : à Tricot, quatre familles ont été relogées et ont intégré des mobile homes. Un bâtiment a été mis à disposition pour servir de garde-meubles.

Soutien technique et reconnaissance des autorités : à Tricot, le sous-préfet est venu constater l'étendue du sinistre. A sa demande un expert a été désigné par le tribunal de Clermont. Une demande a été faite pour faire reconnaître le village en zone sinistrée. Cent dix communes dans l'Oise demandent ce classement. Le Préfet est également allé visiter Tricot (trois fois). Une cellule de soutien psychologique (associée aussi aux inondations de la Somme) a été mise en place.

Financement des réparations : les indemnisations s'effectuent dans le cadre des procédures « catastrophes naturelles », cependant la crue de nappe a duré plusieurs mois et les compagnies d'assurance n'ont pas souhaité commencer les travaux avant le retour à la normale. Cela a inquiété les sinistrés qui se sont mobilisés car « [10]*Le « plateau », sans nier les malheurs de la Somme ne voudrait pas être l'oublié des pouvoirs publics et des compagnies d'assurance* » et les sinistrés tricotois ont créé une association de défense car *« pendant deux mois personne ne se souciait vraiment de nous en dehors du maire et de son équipe. Maintenant c'est différent, l'association compte une centaine de membres et nous allons fédérer les habitants des autres villages*[11] ».

« *….les sinistrés se préparent à batailler contre les compagnies d'assurances qui rechignent à les aider. Une enveloppe de 100 000 F débloquée par le conseil général, leur permettra d'engager un avocat…* ».

Fig. 23 - Effondrement ayant entraîné la destruction partielle d'une dépendance à Piennes-Onvillers (photo L. Stieltjes, BRGM).

[9] Le monde, 8 mai 2001
[10] ib.
[11] ib.

- **En Touraine**

Les cavités

De très nombreuses carrières, exploitées en chambres et piliers sont creusées dans le tuffeau (calcaire tendre) à flanc de falaise où elles sont généralement visibles.

Leur exploitation est le plus souvent ancienne et leur instabilité est forte, en raison de taux de défruitement trop important, d'une mauvaise dimension et d'une mauvaise répartition des piliers.

Leur surface peut être de l'ordre de l'hectare.

Les évènements et les dommages

La ruine des carrières entraîne souvent l'effondrement des falaises surplombantes occasionnant des dommages, beaucoup de bâtiments d'habitation étant situés en pied de falaise.

Le plus connu des effondrements est celui de Rochecorbon en 1933, qui a mobilisé 30 000 m^3 de roche, a détruit quatre maisons et fait plusieurs victimes.

Les exemples présentés ci-dessous illustrent le type de dommage que l'on peut observer :

Fig. 24 - Tours, quartier de Saint-Symphorien, effondrement d'une façade de cave (photos R. Pasquet) 1998.

Fig. 25 - Marmoutier, carrière souterraine affaissée avec effondrement du coteau en façade, 1985 (photo R. Pasquet).

- **En Normandie**

Les cavités

En Normandie, les cavités dans la craie sont extrêmement nombreuses. Ce sont généralement des marnières, qui ont été exploitées par les agriculteurs pour amender leurs champs.

Elles sont souvent en forme de bouteilles dont le puits d'accès est généralement bouché. À la suite d'un événement pluvieux, l'obturation disparaît, des cavités remontent jusqu'à la surface et génèrent des fontis qui s'ouvrent sur les marnières.

Ces évènements, dangereux en eux-mêmes, le sont d'autant plus que l'emplacement des cavités n'est généralement pas connu et que les méthodes géophysiques de reconnaissance ont des performances limitées pour les détecter.

Les risques sont d'autant plus grands, que les campagnes s'urbanisent. En effet, les marnières étaient essentiellement creusées dans les champs, mais le développement des infrastructures et des habitations en milieu rural augmente le nombre des éléments exposés.

La Normandie est affectée à l'échelle régionale par ces cavités, 140 000 sont recensées dont 80 000 en Seine-Maritime, soit 10 par km².

Fig. 26 - Saint-Gilles-de-la-Neuville, 76 (photo Ch. Mathon).

Les événements et les dommages

Les fontis peuvent être très nombreux lors des périodes de forte pluviosité. Ils conduisent à la ruine ou à l'endommagement d'habitations, de routes. Sur le plan humain, un accident mortel par enfouissement a eu lieu et les dommages psychosomatiques liés à l'inquiétude de vivre à l'aplomb de terrains sous-cavés et de ne pas avoir de solution claire d'indemnisation sont importants.

Sur le plan financier, à titre d'exemple, le Conseil général de l'Eure a investi en 2002 près de 2,3 M€ dans des travaux de consolidation des sols sur treize routes départementales.[12]

Le problème majeur des marnières est lié à leur méconnaissance et aux problèmes d'indemnisation.

C'est à la suite des accidents répétés dus aux marnières, que le Code de l'environnement prévoit dans ses articles L. 561-1 et L. 561-3 « l'élaboration par les communes ou leurs groupements d'une cartographie des cavités souterraines et des marnières susceptibles de provoquer des effondrements. Toute personne qui a connaissance de l'existence d'une cavité dangereuse doit en informer le maire »[13].

[12] Paris Normandie, mercredi 12 février 2003.
[13] Le Moniteur, 14 juin 2002.

Il est également prévu dans cette loi que la garantie catastrophe naturelle liée aux « affaissements de terrain dus à des cavités souterraines et à des marnières » s'applique.

140.000 marnières menacent la Normandie
Les effondrements de marnières se multiplient à une cadence infernale. Enquête sur un fléau créé par l'homme et aggravé par la météo. p. 3
Actuellement on recense vingt effondrements par jour en Haute-Normandie. Un phénomène aux conséquences dramatiques comme à Mesnil-Panneville, où une maison entière avait été engloutie en 1995 (Photo archives PN)
FAITS DIVERS
Marnière à Claville-Motteville : dix-huit personnes évacuées
Un affaissement de terrain a creusé un trou qui menace de s'élargir.
Le jeune homme a péri dans la marnière
Un député défend les victimes de marnières
La proposition de loi du député de Seine-Maritime Gérard Fuchs offre un espoir aux victimes qui réclament une indemnisation. p. 2
Les terrains de Haute-Normandie sont truffés de marnières dont l'existence constitue un danger permanent (Photo archives PN à Thuit-Signol dans l'Eure)

Fig. 27 - Extraits de coupures de presse sur les dommages dus aux marnières.

- **En Lorraine**

Les cavités

Les cavités à l'origine des affaissements lorrains présentés ci-dessous, sont les anciens « stots » des mines de fer, exploités par chambres et piliers.

Il s'agit de zones non dépilées, dont les piliers ont été conservés à l'aplomb des zones construites afin de préserver celles-ci des affaissements.

Les plans d'exploitation concernant ces zones existent. Réalisés par l'exploitant, ils sont conservés par l'administration qui avait en charge le suivi de l'exploitation. Leur précision est de l'ordre du 1/5 000.

Les événements ayant entraîné des dommages sont des affaissements.

En raison de la relative profondeur des mines, les affaissements ne s'accompagnent généralement pas d'un risque direct et immédiat pour la sécurité des personnes, mais des désordres graves peuvent être causés aux structures implantées en surface, bâtiments, infrastructures et réseaux.

Les événements et les dommages

La succession des dommages dus à des affaissements miniers en Lorraine ces dernières années, est la suivante :

- 1995, à Jarny, deux maisons évacuées puis détruites, leurs habitants relogés ;
- 1996 à Auboué, affaissements miniers entraînant l'évacuation définitive de 150 familles ;
- 1997 en mai et en octobre, affaissements à Moutiers ;
- 1998 octobre à Moyeuvre, les eaux débordent des exhaures minières ;
- 1998 décembre, le Syndicat des eaux du Soiron change ses sources d'approvisionnement car les eaux d'exhaure sont trop sulfatées et impropres à la consommation ;
- 1999 janvier, une maison démolie à Moutiers, 84 habitants doivent évacuer ;
- 1999 janvier, évacuation à Moyeuvre de 43 maisons (102 personnes) ;
- 1999 mai, les conséquences des affaissements sur la santé sont examinées par la justice : 21 sinistrés d'Auboué demandent que soient constatées et évaluées les conséquences physiologiques et psychologiques des affaissements.

L'ensemble des dommages d'Auboué et de Moutiers et de leurs conséquences en termes d'études et de surveillance est estimé par l'État[14] à 246 millions de francs soit 37 Millions € pour la collectivité nationale.

[14] Bassins miniers nord-lorrains, mission d'étude et de propositions rapport établi sous la direction de Bernadette Malgorn, Préfet de la région Lorraine ; 30 juin 1998.

Le contexte et les conséquences des dommages

Dans les zones d'exploitation du minerai de fer, le foudroyage (affaissement provoqué) au droit des habitations n'a pas été pratiqué par l'exploitant, contrairement à ce qui se pratique dans le secteur charbonnier. Les affaissements constituaient donc un phénomène inconnu.

Ceux-ci se sont produits dans le contexte de l'arrêt de l'exploitation minière et pour certains, ont affecté d'anciens mineurs qui avaient racheté à la mine leurs maisons.

Les événements « sont survenus dans l'année de signature du dernier arrêté préfectoral donnant acte à Lormines (avant-dernier exploitant) des conditions dans lesquelles il abandonnait ses travaux, à un moment où l'arrêt des exhaures minières constituait la préoccupation majeure des collectivités locales. [….] Ces événements ont fait l'effet d'un brutal rappel à l'ordre pour tous ceux qui, de près ou de loin ont eu à connaître de l'exploitation des mines de fer »[15].

ATTENTION
AFFAISSEMENTS MINIERS
ICI, LE 14 OCTOBRE 1996,
TOUT UN QUARTIER D'AUBOUE S'EST AFFAISSE
VICTIME DE L'ENNOYAGE ET DE L'EXPLOITATION
ABUSIVE DE LORMINES.
71 FAMILLES ONT ETE EVACUEES
ET 35 ATTENDENT UNE SOLUTION
A LEURS PROBLEMES .
SOYEZ PRUDENTS
ET RESPECTUEUX DES LIEUX .

Fig. 28 - Dommages à Auboué (photo M. Messin).

Connaissance du phénomène

Le phénomène n'était pas connu et ses conséquences ont été interprétées comme le fait que les séquelles minières peuvent affecter la sécurité et l'avenir de la région plus fortement et plus longtemps que prévu.

Dommages induits

Pour les personnes, les dommages sont essentiellement des troubles d'origine psychologique. Ces dommages ont été constatés par des équipes médicales[16] qui ont observé des troubles du comportement et du sommeil ainsi que des effets physiques. Ils semblent atteindre surtout les personnes âgées et celles ayant des antécédents somatiques.

[15] Bassins miniers nord-lorrains, mission d'étude et de propositions rapport établi sous la direction de Bernadette Malgorn, Préfet de la région Lorraine ; 30 juin 1998.

[16] Les personnes âgées sont les plus choquées ; M. Dinaucourt ; Économie Lorraine N° 173 INSEE. Voir aussi les travaux du Laboratoire de psychologie de Metz en bibliographie.

Pour l'eau, sa qualité se trouve affectée par l'arrêt de l'exhaure (pompage des eaux souterraines). En effet, les eaux de la nappe, en remontant, se sulfatent au contact des piliers et deviennent impropres à la consommation. Ce phénomène a entraîné la réorganisation de l'alimentation en eau d'un syndicat communal.

Pour les biens, ce sont des voies ferrées inutilisables parce que les affaissements les ont endommagées (mais elles desservaient les mines et n'ont plus vraiment d'utilité), une autoroute où un affaissement contraint les véhicules à ralentir. Un commerce a disparu et la réduction du nombre d'habitants est susceptible d'entraîner la fermeture de classes dans les communes affectées.

Mais c'est surtout la réduction considérable des possibilités d'aménagement de la région qui constitue l'un des principaux dommages induits par les affaissements miniers : « Au-delà du cas particulier des 160 familles qui ont du être relogées dans l'immédiat, sont en jeu la sécurité et l'avenir d'une région entière. Dans le bassin ferrifère quelques 1 800 hectares de zones urbanisées se situent au-dessus des zones d'affaissement potentiel différé et 11 000 ha peuvent être également affectés de manière moins significative. [….] Au-delà des strictes questions de sécurité se pose un problème spécifique d'aménagement du territoire [17]».

Liée aux problèmes d'aménagement, la délivrance des permis de construire nécessite des examens approfondis et les délais d'obtention sont tels qu'ils entravent le développement des communes.

Sur les plans social et politique, les conditions d'indemnisation n'étant pas clairement fixées, la négociation qui en a résulté a conduit à de fortes tensions. Jusqu'à une prise en charge politique au niveau national, puisque les évènements d'Auboué et Moutiers ont conduit à une réforme du Code minier en matière d'indemnisation.

Le relais médiatique a été très fort (presse nationale écrite et télévisée), la mobilisation sociale également. Des manifestations ont eu lieu, des associations de victimes se sont constituées, les élus ont été saisis.

Financement des réparations et responsabilité

Les extraits de presse ci-dessous peignent les conditions dans lesquelles se sont faites les indemnisations :

« Le problème des indemnisations se complique à partir du moment où « l'État est à la fois juge et partie »… Nul doute que l'indépendance d'une entité d'expertise est nécessaire lorsqu'il s'agit d'obtenir de l'État ou d'un exploitant minier des indemnités si élevées. (L'Express 25/3/99) ».

« Une indemnisation de 500 000 F pour des habitations vétustes dont la valeur vénale n'atteint pas 200 000 F me semble prohibitive. Pourtant victimes et associations s'accordent à dire que les indemnisations en question incluent heureusement d'autres paramètres, comme les frais de logement et le préjudice moral. Pour ce qui est des indemnisations allouées aux communes, la polémique fait encore rage aujourd'hui et les solutions tardent à venir. (L'express 25/3/99) ».

[17] Bassins miniers nord-lorrains, mission d'étude et de propositions rapport établi sous la direction de Bernadette Malgorn, Préfet de la région Lorraine ; 30 juin 1998.

« C'est surtout l'extrême lenteur et le manque flagrant de cohérence dans la gestion des indemnisations qui frappe. (L'express 25/3/99) ».

Selon l'État lui-même[18],

« en matière d'indemnisation, le traitement des affaissements d'Auboué et de Moutiers a montré les limites du dispositif prévu par le Code minier .[…] Face à une situation intolérable pour les sinistrés, il a fallu inventer un dispositif mieux adapté de règlement amiable, qui a nécessité, de la part de tous les acteurs concernés le déploiement d'une énergie considérable ».

« en matière de partage des responsabilités, les expériences récentes montrent les différences de doctrine, facteurs de contentieux, de retard, et d'insécurité juridique. C'est en particulier le cas en matière de responsabilité civile ».

Une modification du Code minier sur l'indemnisation des habitations a résolu pour partie les difficultés présentées ci-dessus.

b) Nature et évaluation des dommages

La présentation des dommages ci-dessus met en évidence qu'il existe plusieurs types de dommages :

- des dommages directs, généralement décrits lorsqu'un événement est mentionné, ce sont les dommages physiques aux personnes et aux biens ;
- des dommages induits, décrits généralement comme des conséquences, qui peuvent ou non apparaître à la suite d'un événement. Ce sont par exemple des difficultés de transport, d'alimentation en eau ou en électricité, des manifestations sociales, des conséquences écologiques. Ces dommages, qui apparaissent comme les conséquences des dommages directs sont généralement mentionnés lorsqu'ils sont importants et passés sous silence le plus souvent.

Si les dommages physiques doivent être évalués afin de permettre le financement de la reconstruction, les dommages induits doivent faire l'objet d'un examen attentif car ils définissent les conditions de la gestion de la crise.

Il est donc important de disposer d'un moyen d'évaluation de ces dommages afin d'identifier le contexte fonctionnel, social, ou politique de la gestion de la crise.

Il est également important de pouvoir comparer différents événements entre eux, dans des domaines plus étendus que les seules évaluations physiques et financières.

Mais il est apparu lors de l'analyse des échelles que si il existe des instruments permettant d'évaluer et de comparer des dommages physiques, il ne semble pas exister d'outil d'évaluation des dommages induits.

[18] Bassins miniers nord-lorrains, mission d'étude et de propositions rapport établi sous la direction de Bernadette Malgorn, Préfet de la région Lorraine ; 30 juin 1998.

2.3. APERCU DES ÉCHELLES DE DOMMAGE UTILISÉES DANS LE DOMAINE DES RISQUES INDUSTRIELS ET NATURELS

Notre travail portant sur la réalisation d'une échelle, nous proposons, dans ce chapitre de présenter et d'analyser un ensemble significatif d'échelles existantes. Après une introduction (2.3.1.), nous présentons les échelles typologiques de dommages (2.3.3.), les échelles d'intensité de dommages potentiels évaluée à partir de la connaissance de l'événement (2.3.5.), les échelles d'intensité d'un événement caractérisée par ses dommages (2.3.4.), les échelles d'évaluation globale des dommages (2.3.6.) puis une synthèse générale portant essentiellement sur les critères utilisés dans ces échelles.

2.3.1. Introduction

Par définition, une échelle est une suite de degrés, de niveaux classés dans un ordre progressif, et qui établit une hiérarchie, un moyen de comparaison, d'évaluation (Larousse). Cela nous amène à distinguer le terme d'échelle de celui de « classification », qui permet une distribution par classes, par catégories, sans hiérarchie (Larousse). Une échelle peut servir d'outil de classification mais l'inverse n'est pas vrai.

Il existe aujourd'hui un très grand nombre d'échelles utilisées qui concernent une grande variété d'aléas (séismes, éruptions volcaniques, cyclones, tornades, vents, avalanches, mouvements de terrains, accidents industriels, accidents nucléaires, etc.). Elles sont souvent utilisées pour caractériser la probabilité d'occurrence d'un événement mais plus souvent pour caractériser sa magnitude, la gravité de ses conséquences ou les risques liés à l'événement ou l'aléa caractéristique de cet événement. Par ailleurs, les échelles existantes sont sans cesse améliorées (ou simplifiées) pour mieux répondre aux besoins de la « prévention » des risques (Blong, 2003) comme le fut, par exemple, l'échelle d'intensité sismique qui a subi une dizaine de changements depuis le XIX^{e} siècle jusqu'à maintenant. Elles ont été construites avec des objectifs parfois différents pour répondre à des besoins de communication, de classification ou pour servir au retour d'expérience.

En théorie, les caractéristiques les plus importantes d'une échelle sont les suivantes (Grünthal, 1998 ; Rejewski, 1993 ; Davidson, 1997 ; Hamblin, 1998 ; Lehmann *et al*., 1998 ; Kaly *et al*., 1999) : 1) la simplicité ; 2) la clarté ; 3) la plausibilité ; 4) la fiabilité ; 5) la disponibilité des données ; 6) la qualité des données ; 7) la robustesse ; 8) l'honnêteté ; 9) la pertinence; 10) la compréhension intuitive ; 11) l'applicabilité ; 12) l'utilité en décision. Or, entre la simplicité demandée et le détail nécessaire pour une description fiable et plausible des dommages, réside une certaine contradiction de constitution (Alexandre, 1989). Les échelles reflètent ainsi, en général, un compromis entre simplicité et détail.

Dans ce qui suit, nous allons présenter les échelles recensées et les analyser afin de pouvoir alimenter notre réflexion et nous permettre de positionner notre proposition d'échelle par rapport à l'existant en éclairant les choix qui seront faits et les aspects méthodologiques nouveaux apportés. Toutes ces échelles sont présentées en annexe 2.

2.3.2. Répartition des échelles recensées par objectif

Les échelles qui nous intéressent sont celles dans lesquelles les dommages causés par un phénomène sont identifiés et/ou évalués. Les échelles mesurant seulement l'intensité d'un phénomène comme par exemple l'échelle de Richter (sismique), l'échelle de Beaufort (vent - MO, 1963) ou l'échelle VEI (éruptions volcaniques - Newhall et Self, 1982), permettent de caractériser un événement sans référence aux dommages qu'il est susceptible d'engendrer. Elles intéressent moins notre travail et ne font pas partie des échelles étudiées ici. Ainsi, une quarantaine d'échelles a été inventoriée. L'examen préliminaire de ces échelles nous permet d'en distinguer quatre catégories différentes (fig. 29) :

- les échelles de dommages typologiques (ET) ;
- les échelles « événement → dommages » (E1) ;
- les échelles « dommages → événement » (E2) ;
- les échelles d'évaluation globale des dommages (ED).

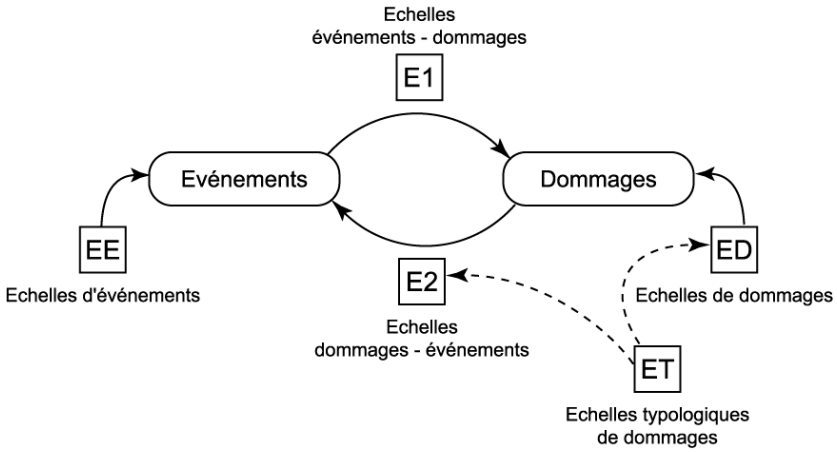


Fig. 29 - Répartition des échelles par objectifs.

Ces échelles sont présentées dans le tableau page suivante, elles sont classées par catégorie. Un numéro de référence permet de retrouver leur description en annexe.

2.3.3. Les échelles typologiques de dommages (ET)

Ces échelles définissent plusieurs niveaux de dommages physiques pour un bien donné. Les dommages décrits sont liés à un type de phénomène, sans qu'il y ait de relation explicite entre l'intensité du phénomène et le dommage. Il faut noter que ce sont essentiellement les échelles concernant les mouvements de terrain et les séismes qui sont concernées.

Ce type d'échelles de dommages ne donne aucune indication sur l'ensemble des dommages qui peuvent être attendus ou qui ont été causés par un événement d'intensité donnée. Ainsi l'objet de l'évaluation peut concerner soit un type d'élément

	Nom de l'échelle*	Date de réalisation	Type d'échelle	Type d'aléa	Évaluation des dommages						Description des dommages	
						Matériels						
					Aux personnes	Infrastructures	Biens	Aux ressources	Aux fonctions		Qualitative	Quantitative
1	Soloviev	1970	E1	Tsunami	X	X	X	X	X		X	
2	Fujita Pearson	1971	E1	Tornade		X		X	X		X	
3	Saffir Simpson	1971	E1	Cyclone		X	X		X		X	
4	Torro	1972	E1	Grêle	X	X		X	X		X	
5	Murty	1986	E1	Tsunami	X	X	X	X	X		X	
6	Échelle d'avalanche canadienne	1990	E1	Avalanche	X	X		X	X		X	
7	BOM	1992	E1	Cyclone		X	X		X		X	
8	INES	1994	E1	Nucléaire	X			X	X	X	X	
9	Guide et Carte de Vigilance Météorologique (METEO-FRANCE, 2001)	2001	E1	Météo	X	X	X	X	X		X	
10	Échelle d'avalanche française	2002	E1	Avalanche	X	X		X	X		X	
11	Torino	2001	E1	Météorite	X	X	X	X	X		X	
12	Damage state	1973	ET	Séisme		X					X	
13	NCB classification of subsidence damages (NCB, 1975)	1975	ET	Mv.T.		X					X	
14	Classification des dégradations (Bruhn et al, 1982)	1982	ET	Mv.T.		X					X	
15	Classification des dégradations (Bhattacharya et al, 1984)	1984	ET	Mv.T.		X					X	
16	Classification des dégradations (Ji-Xian, 1985)	1985	ET	Mv.T.		X					X	
17	Landslide damage scale (Alexander, 1989)	1988	ET	Mv.T.		X					X	
18	Échelle des niveaux d'intensité DPP		ET	Mv.T.		X					X	
19	Classification des dégradations (Pellisier et al, 1992)	1992	ET	Mv.T.		X					X	
20	Endommagement du bâti (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.		X					X	
21	Endommagement des personnes (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.	X						X	
22	Endommagement des réseaux (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.			X				X	
23	Endommagement des fonctions (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.						X	X	
24	Endommagement des surfaces naturelles (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.					X		X	
25	Classification des dégradations (Burland, 1997)	1997	ET	Mv.T.		X					X	
26	HAZUS : Bâti (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme		X					X	
27	HAZUS : Infrastructure (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme			X				X	
28	HAZUS : Réseaux (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme			X				X	
29	HAZUS : Personnes (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme	X						X	
30	Classification des dommages au bâti en béton armé (EMS 98)	1998	ET	Séisme		X					X	
31	Classification des dommages au bâti en maçonnerie (EMS 98)	1998	ET	Séisme		X					X	
32	Landslides damage to buildings (N.H.R.C., 1999)	1999	ET	Mv.T.		X					X	
33	Rossi-Forel (Tiedemann, 1992)	1883	E2	Séisme		X					X	X
34	Mercalli Modifié	1931	E2	Séisme		X					X	X
35	JMA	1949	E2	Séisme		X					X	X
36	MSK (Sponheuer et al, 1964) remplacée par EMS 98	1964	E2	Séisme		X					X	X
37	Landsea	1992	E2	Cyclone								X
38	EMS98	1998	E2	Séisme		X					X	
39	D'intensité des phénomènes volcaniques (BRGM, 1998)	1998	E2	Volcan	X	X	X	X	X		X	X
40	De dommages liés aux tsunamis (Papadopoulos et al, 2001)	2002	E2	Tsunami	X	X	X	X	X		X	X
41	Gravité des phénomènes (préjudices humains) (MEDD)	1990	ED	Mv.T.	X							X
42	Gravité des accidents industriels (BARPI, 1993)	1993	ED	A. Ind.	X	X	X	X	X		X	X
43	Central Damage Value (Blong, 1999)	1999	ED	Divers		X					X	X
44	Échelle de gravité des dommages (MATE, 2002)	2001	ED	Divers	X	X	X	X	X			X
45	Échelle des catastrophes de Bradford (Keller, 1989)	1989	ED	Divers	X							X

En jaune, les échelles couramment utilisées en Europe

Tabl. 6 - Liste des échelles triées par catégorie

touché et un seul (personnes, structures, infrastructures, réseaux, etc.) comme dans l'échelle NCB (n° 12), soit un ou plusieurs sous-éléments d'un bien où l'évaluation peut aller assez loin dans les détails. L'échelle Hazus (n° 25) illustre bien ce type d'échelle dans laquelle l'évaluation des dommages au bâti fait l'objet d'une quinzaine de sous-échelles (mur porteur, installations électriques, etc.) de quatre niveaux chacune.

Ces échelles présentent un intérêt pour la constitution d'autres échelles. Elles peuvent en effet constituer des sous-échelles dans des échelles plus globales (les autres catégories d'échelles). Ainsi, les niveaux de dommage au bâti définis dans les EMS 98 (n° 29 et 30) associés au pourcentage de bâtiments concernés par les dommages, permet de définir les niveaux de l'échelle d'intensité sismique EMS 98 (38). Cette échelle est une échelle dommage-événement (E2). Dans les paragraphes correspondant à chaque catégorie d'échelle, nous présenterons plus explicitement le lien existant entre les échelles typologiques et les autres.

Parmi les 20 échelles typologiques recensées, 13 servent à l'évaluation typologique des dommages au bâti (n° 11 à 19, 24, 25, et 29 à 31) ; les autres traitent des dommages aux personnes (2 échelles, n° 20 et 28), des dommages aux réseaux et infrastructures (3 échelles, n° 21, 26 et 27), des dommages aux ressources naturelles (1 échelle, n° 23) et des dommages aux fonctions (1 échelle, n° 22).

a) Les échelles typologiques de dommages au bâti

Elles décrivent des dommages physiques au bâti et les caractérisent selon :

- la gravité du dommage physique qui apparaît dans tous les niveaux de chaque échelle ;
- l'urgence et/ou la nécessité des travaux de réparation à effectuer : ce critère est utilisé 24 fois dans 7 échelles. Il correspond à la nécessité de redécorer, d'étayer, de démolir et de reconstruire partiellement ou totalement ;
- le niveau de fonctionnalité du bâti et des éléments constitutifs de la maison (portes, fenêtres, plomberies, etc.) : ce critère est utilisé 6 fois dans 3 échelles ;
- le niveau de dommage aux réseaux (dans le bâtiment, tels que conduites d'eau, de gaz et d'électricité, ascenseurs, etc.) : ce critère est utilisé 5 fois dans 3 échelles ;
- des recommandations telles que évacuation ou clôture du site : ce critère est utilisé 9 fois dans 4 échelles.

b) Les échelles typologiques des dommages aux personnes

Deux échelles parmi celles que nous avons étudiées hiérarchisent les dommages aux personnes. Il s'agit de l'échelle de Léone (n° 20) et de l'échelle de Hazus (n° 28).

Personnes	I	Préjudice moral ou gêne
	II	Troubles psychologiques
	III	Blessure physique sans séquelle
	IV	Blessure physique entraînant une invalidité
	V	Décès

Tabl. 7 - Échelle de dommages aux personnes (Leone).

Injury Severity Level	Injury Description
Severity 1	Injuries requiring basic medical aid without requiring hospitalization
Severity 2	Injuries requiring a greater degree of medical care and hospitalization, but not expected to progress to a life threatening status
Severity 3	Injuries that pose an immediate life threatening condition if not treated adequately and expeditiously. The majority of these injuries are the result of structural collapse and subsequent entrapment or impairment of the occupants.
Severity 4	Instantaneously killed or mortally injured

Tabl. 8 - Échelle de dommages aux personnes (Hazus).

L'échelle de Léone développée dans le contexte des mouvements de terrain est construite autour de la notion « d'opérationalité » des personnes : préjudice ou gêne, blessure physique sans séquelle (inopérationnalité partielle ou totale momentanée), blessure physique entraînant une invalidité (inopérationnalité partielle ou totale durable). Elle introduit la notion de troubles psychologiques, qu'elle hiérarchise en niveau II, ce qui ne correspond pas totalement au concept développé car, selon leur gravité, les troubles psychologiques peuvent gravement handicaper une personne, au même titre qu'une blessure physique.

L'échelle d'Hazus a été développée pour les séismes, elle décrit les dommages humains en fonction de la problématique de la gestion de crise : hospitalisation inutile, hospitalisation nécessaire dans un contexte où il n'y a pas de risque de décès, hospitalisation et traitement très urgent car risque de décès.

Les dommages psychologiques ne sont pas abordés, pas plus que la durée des dommages ou leur gravité du point de vue de « l'opérationnalité » des victimes.

c) Les échelles typologiques des dommages aux infrastructures et réseaux

Nous avons recensé trois échelles typologiques de dommages aux réseaux et infrastructures ; l'échelle d'endommagement des réseaux de Léone n° 21 et les échelles hazus (n° 26 et 27).

Léone rassemble dans la même échelle (n° 21), dite échelle d'endommagement des réseaux, cinq sous-échelles typologiques des dommages relatives aux routes, conduites, lignes, voies ferrées et canaux. Les critères utilisés se résument aux dommages physiques comme suit : dégradation, obstruction (faible ou élevée), distorsion, fissuration et rupture.

Dans les échelles Hazus (n° 26 et 27) les infrastructures sont séparées des réseaux. Chacune de ces deux catégories distingue différents types d'éléments évalués dans des échelles de 4 niveaux. Outre les dommages physiques, cette échelle fait apparaître la nécessité des travaux de réparations ainsi que la fonctionnalité comme critères d'évaluation de dommages.

Types de dommages	Objets de l'évaluation	Description
Légers	Routes, ponts, tunnels	Endommagements légers non structurels
Modérés		Possibilité de rupture de certaines parties. Caractérisée par la dégradation des éléments structuraux principaux.
Généralisés		Dommage aux structures
Complets		Effondrement partiel à total

Tabl. 9 - Échelle de dommages aux réseaux (d'après Hazus).

Niveau de dommages	Routes		Ponts		Tunnels et autoroutes	
	Moyenne (jours)	Ecart type (jours)	Moyenne (jours)	Ecart type (jours)	Moyenne (jours)	Ecart type (jours)
Légers	0,9	0,05	0,6	0,6	0,5	0,3
Modérés	2,2	1,8	2,5	2,7	2,4	2
Généralisés	21	16	75	42	45	30
Complets			230	110	210	110

Tabl. 10 - Exemples de fonctions continues de réparation de réseaux (d'après Hazus).

Routes			
Durée d'interruption	% de fonctionnalité		
	Dommages		
	Légers	Modérés	Généralisés à complets
1 jour	90	25	10
3 jours	100	65	14
7 jours	100	100	20
30 jours	100	100	70
90 jours	100	100	100

Tabl. 11 - Exemples de fonctions discrètes de réparation de réseaux (d'après Hazus).

L'originalité des échelles Hazus réside dans l'évaluation de la durée de dysfonctionnement de l'infrastructure ou du réseau concerné. Cette durée étant le temps nécessaire pour réparer le support endommagé assurant la fonction en question. Ainsi, pour chaque niveau d'endommagement, correspond la durée d'interruption exprimée en moyenne et en écart-type pour chacun des éléments concernés.

d) Les échelles typologiques des dommages aux fonctions

Parmi les échelles étudiées, seule l'échelle de Léone (n° 22) constitue une échelle de dommages aux fonctions. Elle distingue les fonctions économie, logement, emploi, transport, communication et distribution.

Fonctions	Économique	I	Ralentissement de l'activité
		II	Arrêt provisoire
		III	Arrêt définitif
	Sociale Logement	I	Sans-abri temporaire (relogement provisoire)
		II	Sans-abri définitif (relogement définitif)
	Sociale Emploi	I	Chômage technique temporaire (quelques jours à quelques semaines)
		II	Chômage technique et durable (quelques mois)
		III	Perte de l'emploi
	Transport, Communication, Distribution	I	Ralentissement du trafic (pour routes et voies ferrées)
		II	Limitation de gabarit (pour routes et voies ferrées)
		III	Interruption momentanée (en heures)
		IV	Interruption prolongée (en jours)
		V	Interruption durable (en mois) à définitive
	Autre	I	Perdue provisoirement
		II	Perdue définitivement

Tabl. 12 - Échelle de dommages aux fonctions (Leone).

L'évaluation des dommages aux fonctions est réalisée selon des critères de flux (limitation de gabarit, ralentissement, arrêt) et des critères de durée (momentanée, durable, définitive).

e) Les échelles typologiques des dommages aux ressources naturelles

La seule échelle constituée pour évaluer les dommages aux ressources naturelles est celle proposée par Léone (n° 23).

Nature de l'élément exposé		**ID**	**Modes d'endommagement**	**Taux D***
Surfaces naturelles	Terrain (foncier et sol associé)	I	Dégradations du sol	0,1-0,4
		II	Remaniements topographiques mineurs	0,3-0,6
		III	Remaniements topographiques majeurs	0,7-1
	Cours d'eau	I	Partiellement obstrué	0,5
		II	Totalement obstrué	1
	Plan d'eau	I	Pertes hydrauliques	0,5
		II	Comblement partiel total	1

*Taux D= % d'endommagement

Tabl. 13 - Échelle de dommages des surfaces naturelles (Leone).

Les éléments cités dans l'échelle ne représentent pas l'ensemble des ressources naturelles. En particulier les ressources souterraines et les nappes d'eau ne sont pas évoquées, pas plus que l'atmosphère ou le paysage. On y trouve par contre les terrains (fonciers), les cours d'eau et les plans d'eau.

Le critère d'évaluation de dommage dans cette échelle est le taux d'endommagement de la ressource. Il n'y a pas de notion de durée du dommage ni d'importance en termes de volume ou de surface.

2.3.4. Les échelles d'intensité (dommages-événement) (E2)

Ces échelles décrivent des dommages dont la gravité permet d'évaluer l'intensité de l'événement qui les a causés.

Pour pouvoir évaluer l'intensité du phénomène à partir des dommages observés, il est nécessaire de connaître la vulnérabilité des éléments exposés à ce phénomène. C'est-à-dire de connaître la relation taux d'endommagement d'un élément/agression du phénomène.

Les ingénieurs en risque sismique ont beaucoup travaillé sur les courbes de vulnérabilité physique et les échelles de dommages y sont très développées.

La nature des dommages décrits est la suivante :

- dommages aux éléments physiques ;
- dommages liés à la stabilité des objets et des meubles ;
- dommages à l'agriculture et au bétail ;
- dommages aux véhicules ;
- dommages aux bâtiments classés selon leur typologie de comportement mécanique et la vulnérabilité physique correspondante, exprimés selon une échelle de degrés de dommages ;
- dommages aux éléments linéaires (rails de chemin de fer, routes, réseaux), aux réservoirs au sol ;
- dommages aux personnes : perception de l'événement, frayeur, submersion (tsunamis) ;
- dommages aux ressources naturelles, en particulier niveau de l'eau dans les puits, paysage ;
- phénomènes associés : mouvements de terrain.

Ces échelles permettent d'évaluer à partir des dommages observés l'intensité d'un événement. Elles permettent également dans le cas du risque sismique, si l'on dispose de la distribution géographique de l'intensité de l'événement, d'évaluer précisément les dommages physiques au bâti, et par déduction, les dommages aux personnes.

Le principe de construction de ces échelles est transposable à de nombreux phénomènes, à condition que l'on dispose de données sur la vulnérabilité physique des éléments exposés.

L'échelle EMS98 étant l'une des échelles de ce type les plus connues, les plus utilisées, et la plus récemment modifiée, nous proposons de la présenter plus en détail.

a) L'échelle macrosismique européenne (des événements sismiques) : EMS98

- **Objectifs**

Résultat de l'évolution d'échelles d'intensité plus anciennes comme l'échelle Mercalli ou MSK, cette échelle est conçue pour évaluer l'intensité d'un séisme dans une zone donnée (voir ann. 2, p. 180-181). Cette intensité est évaluée par rapport aux effets produits, qu'ils soient seulement observés ou ressentis par l'homme (réveil, chute d'objets, fissures ...) ou qu'ils prennent la forme de dégâts à des bâtiments types. Elle

dépend essentiellement de l'observation et de l'estimation des effets causés par un séisme.

Ingénieurs ou architectes y font référence dans le cadre de la prévention des séismes. Ils se servent, en effet de cette échelle pour déterminer les dispositions constructives à adopter dans une zone donnée en fonction de l'intensité prévisible d'un événement sismique dans cette zone, afin de réduire l'impact d'un tel événement dans le futur.

Cette échelle est parfois utilisée par les médias (c'est plus souvent « l'échelle » de Richter qui est utilisée) pour informer le public des conséquences d'un séisme.

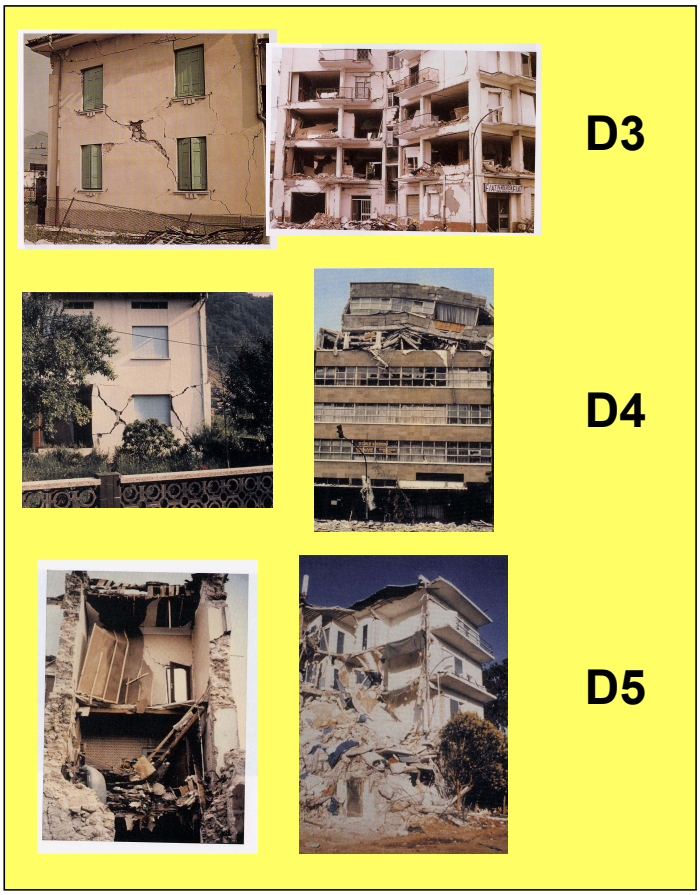


Fig. 30 - Typologie des dommages selon les EMS 98.

- **Critères et méthodes d'évaluation**

Constituée de 12 degrés d'intensité, cette échelle considère les dommages au bâti comme principal critère dans l'évaluation d'un événement sismique. L'intensité est ainsi évaluée à la lumière du croisement d'une typologie de vulnérabilité physique des bâtiments et de leur niveau de dommages. Deux types de structures (maçonnerie et béton armé) sont considérés, pour lesquelles 5 degrés de dommages sont définis.

- 1 : négligeable - léger (dommage architectural léger) ;
- 2 : modéré - moyen (dommage structural léger, dommage architectural moyen) ;

- 3 : considérable - grave (dommage structural moyen, dommage architectural grave) ;
- 4 : très grave (dommage structural grave, dommage architectural très grave) ;
- 5 : destruction (dommage structural très grave).

Par ailleurs la vulnérabilité des constructions est évaluée dans une échelle à 6 niveaux de A à F, dans un ordre de vulnérabilité décroissante. Le croisement de ces deux critères conduit à l'évaluation de l'intensité sismique selon le principe présenté sur le tableau 3.6.

Vulnérabilité / ° dommage	A	B	C	D	E	F
1	V/VI	V/VI	VI/VII	VII/VIII	IX	X
2	VII	VII	VIII	IX	X	XI
3	VII	VIII	IX	X	XI	-
4	VIII	IX	X/XI	XI	-	-
5	IX/X	X/XI	XI	-	-	-

Tabl. 14 - Croisement entre le degré de dommages et les classes de vulnérabilité dans l'échelle EMS98.

- **Objet**

Les 12 niveaux de cette échelle peuvent être répartis en 4 grands ensembles :

I - IV : pas de dommages au bâti. Seule la réaction des animaux et des personnes ainsi que les mouvements possibles de petits objets servent d'indicateurs.

V - VII : les animaux et les personnes réagissent jusqu'à adopter une réaction de panique, les dégâts varient de « légers » à « graves », les bâtiments de classe de vulnérabilité A peuvent subir des dommages de degré 4.

VIII - IX : beaucoup de personnes peuvent avoir du mal à se tenir debout, les dégâts sont destructifs pour les structures de classe A.

X - XII : le degré de dommage varie de « très destructif » à « dévastateur » ou « complètement dévastateur ».

2.3.5. Les échelles d'intensité (événement-dommages) (E1)

Elles constituent les échelles de prévision par excellence. De la bonne connaissance du phénomène, de ses caractéristiques physiques (tabl. 15) et de la zone concernée, ces échelles permettent de donner une idée plus ou moins détaillée des conséquences potentielles aux personnes comme aux biens matériels et aux ressources. En effet, une fois l'événement prévu, certaines de ces échelles permettent de diffuser des recommandations sur les comportements à tenir et sur la mise à l'abri des biens (comme le guide et la carte de vigilance météorologique, échelle n° 8) (voir ann. 2, p. 172-175).

Phénomène	Caractéristiques physiques	N° échelle
Vent	Vitesse	[2], [6]
	Pression	[2], [6]
Avalanche	Masse	[5], [9]
	Volume	[9]
	Longueur d'écoulement	[5], [9]
	Pression d'impact	[5], [9]
Grêle	Dimension des grêlons	[3]
Tsunami	Hauteur des vagues	[1], [4]
Accident nucléaire	La situation géographique des conséquences (à l'intérieur ou à l'extérieur du site)	[7]
	Affectation de la défense en profondeur	
Météorite	Dimension de la météorite	[10]

Tabl. 15 - Caractéristiques physiques utilisées comme critères pour l'évaluation de l'intensité des phénomènes.

A chaque niveau d'intensité correspond un niveau typologique de dommages à un ou plusieurs éléments concernés. À titre d'exemple, l'échelle Saffir Simpson (ann. 2, p. 170) (cyclone, n° 2) décrit, par niveau d'intensité, les dommages au bâti comme suit :

1 - dommage nul au bâti ;

2 - pas de dommage majeur pour le bâti. Quelques dommages aux toitures, portes et fenêtres ;

3 - quelques dommages structurels pour les petits bâtiments. Quelques dommages aux toitures, portes et fenêtres ;

4 - effondrement des toitures des petites maisons. Dommages extrêmes aux toitures, portes et fenêtres. Dommage majeur pour les rez-de-chaussée des bâtiments sur la côte ;

5 - dommage considérable pour les toitures des immeubles. Dommages très intenses et extrêmes aux toitures, portes et fenêtres. Effondrement total des toitures de plusieurs résidences et bâtiments industriels. Quelques bâtiments sont totalement effondrés ou renversés.

Dans ces échelles sont identifiées les conséquences suivantes :

- dommages physiques par nature : dommages aux personnes (enfouissement, blessure, mort), endommagement des arbres, des habitations, des véhicules, des navires ;
- dommages aux fonctions par nature et par importance : coupures d'électricité, de téléphone, perturbation des transports aériens et ferroviaires (guide et carte de vigilance météorologique, échelle n° 7) ;
- les phénomènes associés aux évènements, tels que : pluies de plusieurs heures avant, inondations des terrains plats, des caves, des points bas, crues torrentielles ;
- les recommandations (évacuation, vigilance, confinement, fixation des objets) ;
- la dimension de la zone géographique affectée (Murty n° 4, Torino n° 10).

2.3.6. Les échelles d'évaluation globale des dommages (ED)

Peu nombreuses sont les échelles recensées dans cette catégorie. Elles servent à évaluer les dommages et à classer les événements selon les niveaux de gravité, indépendamment de l'intensité enregistrée. Cette hiérarchisation permet de comparer les événements, soit d'un aléa soit d'une multitude d'aléas, entre eux et de constituer ainsi une base de données utile pour l'analyse des dommages par retour d'expérience.

Ces bases de données sont mises en œuvre pour répondre aux objectifs suivants :

- création de scénarios d'événements pour identifier et évaluer les dommages potentiels ;
- estimations statistiques concernant la nature des conséquences (économiques, sociales, etc.) par type d'événement ;
- identification du « maillon faible » dans les systèmes défaillants ;
- etc.

La détermination d'un niveau de gravité se base sur l'association d'un niveau typologique de dommage à la quantité de biens concernés. L'échelle de gravité des accidents industriels n° 41 reflète très bien ce mode d'évaluation, semblable à celui utilisé dans les échelles d'intensité d'événements recensés dans la catégorie E2.

Les dommages évalués dans ces différentes échelles sont présentés ci-dessous :

- **Dommages aux personnes** : quatre échelles mentionnent ces dommages. L'échelle des accidents industriels (n° 42), l'échelle de gravité des phénomènes (n° 41), l'échelle de gravité du MEDD (n° 44) et l'échelle de Bradford (n° 45). Les types de population affectée sont distingués dans l'échelle de risque industriel. Ce sont les employés, les sauveteurs extérieurs, les personnes du public et les riverains.

Types de dommages	**Seuils**					
Morts	0	1	2-5	6-19	20-49	≥ 50
Blessés hospitalisés>24h	1	2-5	6-19	20-49	50-199	≥200
Blessés légers, hospitalisés<24h	1 - 5	6-19	20 - 49	50-199	200 - 999	≥1000
Sans abris	-	1-5	6-19	20-99	100-499	≥500
Evacués ou confinés		N<500	500≤N< 5000	5000≤N< 50000	50000≤N < 500000	N ≥ 500000
Devant faire l'objet d'une surveillance médicale		N<10	10≤N<50	50≤N<200	200≤N<1000	N≥1000

Tabl. 16 - Échelle d'évaluation des dommages humains dus à des accidents industriels.

Les autres échelles présentent les types de dommages et les seuils suivants :

Niveau de dommages	**1**	**2**	**3**	**4**
Type de dommage		Accident isolé	Quelques victimes	Quelques dizaines de victimes

Tabl. 17 - Échelle d'évaluation des dommages humains d'après l'échelle de gravité des phénomènes mouvement de terrain.

Niveau de dommages	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Type de dommage	Aucun blessé	1 ou plusieurs blessés	1 à 9 morts	10 à 99 morts	100 à 999 morts	1000 morts ou plus

Tabl. 18 - Échelle d'évaluation des dommages humains d'après l'échelle de gravité du MEDD.

- **Dommages physiques** : dans l'échelle de gravité des risques industriels, l'établissement et les autres biens sont distingués. Dans l'échelle du MEDD il n'y a pas d'identification des biens, il y a une évaluation financière. La valeur de C (coût financier des dommages au matériel) est une valeur de référence 1993 exprimée en millions d'€. Les valeurs indiquées pour les deux échelles ne sont donc pas strictement comparables. Il faut ajouter que l'évaluation financière des dommages dus aux risques industriels, prend en compte :
  - · les dommages matériels dans l'établissement,
  - · les pertes de production de l'établissement,
  - · les dommages aux propriétés hors de l'établissement,
  - · le coût des mesures de nettoyage et de réhabilitation de l'environnement.

Niveau de dommages	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
MEDD, éch de gravité	<0,3 M€	entre 0,3 et 3 M€	entre 3 et 30 M€	entre 30 et 300 M€	entre 300 M€ et 3 G€	plus de 3 G€
Echelle de gravité des accidents industriels						
Dommages matériels dans l'établissement	0,1 ≤ C < 0,5	0,5 ≤ C < 2	2 ≤ C < 10	10 ≤ C < 50	50 ≤ C < 200	C ≥ 200
Pertes de production de l'établissement	0,1 ≤ C < 0,5	0,5 ≤ C < 2	2 ≤ C < 10	10 ≤ C < 50	50 ≤ C < 200	C ≥ 200
Dommages aux propriétés ou pertes de production hors de l'établissement		0,05 ≤ C < 0,1	0,1≤ C < 0,5	0,5 ≤ C < 2	2 ≤ C < 10	C ≥ 10
Coût des mesures de nettoyage, décontamination ou réhabilitation de l'environnement	0,01 ≤ C < 0,05	0,05 ≤ C < 0,2	0,2≤ C < 1	1 ≤ C < 5	5 ≤ C < 20	C ≥ 20

Tabl. 19 - Seuils de dommages financiers retenus par les échelles globales.

- **Dommages fonctionnels** :
  · pertes de production (en €),
  · coupures d'eau, de gaz, de téléphone, de transports publics (nombre de personnes x temps en heures) ;

- **Dommages aux ressources** :
  · animaux sauvages tués, blessés ou rendus impropres à la consommation,
  · proportion P d'espèces animales ou végétales rares ou protégées détruites,
  · volume d'eau polluée,
  · surface de sol ou de nappe d'eau nécessitant une dépollution,
  · longueur de berge affectée,
  · coût de la dépollution.

L'échelle de gravité[19] des accidents industriels est caractéristique des échelles d'évaluation globale des dommages. C'est pourquoi nous la présentons plus en détail ci-dessous.

a) Échelle de gravité des accidents industriels

L'élaboration d'une échelle de gravité des accidents chimiques a été proposée par les autorités françaises comme un outil de communication simple et rapide avec le grand public sur la sévérité des accidents. Cette proposition d'échelle fut discutée au sein de la Communauté européenne, ce qui a permis l'adoption d'une échelle constituée de trois sous-échelles (tabl. 20) comme un outil d'analyse interne par les douze pays membres (à l'époque) pendant une période d'essais de 3 ans pour permettre de vérifier sa fiabilité et son utilité avant de la lancer publiquement. Cette décision a été approuvée par le Conseil des Ministres de la Communauté européenne le 19 septembre 1989 (Ojec, 1989).

Aucune règle n'a été adoptée pour combiner les trois sous-échelles afin d'avoir une lecture simple pour caractériser la gravité d'un accident. Par ailleurs, des ambiguïtés ont été trouvées surtout au niveau de la sous-échelle dite « D », où la différence entre « substance impliquée » libérée, brûlée ou explosée ne peut pas être faite. Ainsi la « substance impliquée » est mesurée par un pourcentage de seuils de l'inventaire qu'impose la directive alors que ces seuils ne sont basés sur aucune équivalence, du point de vue du danger. Par conséquent, les conséquences ne peuvent pas être comparables (Drogaris, 1993).

Testée en 1990-91, cette échelle triple n'a pas donné satisfaction sur les aspects suivants :

- l'utilisation d'un système à trois indices portant sur des thèmes de nature différente (danger potentiel, conséquences, intervention) s'est révélée trop compliquée ;
- la répartition et les niveaux de gravité associés à certains critères présentaient des incohérences et entraînaient l'imbrication de conséquences réelles d'accidents et d'effets potentiels d'incidents, ce qui rendait l'interprétation malaisée ;

[19] Pour plus de détails (voir ann. 2, p. 162-167).

Les sous-échelles		Les critères d'évaluation
D	Echelle de danger actuel ou potentiel, fonction de la quantité et de la nature du produit impliqué	Quantité de produit en % des seuils de la directive Seveso
		Quantité de produit en équivalent TNT (t) pour les explosifs
C	Echelle de conséquences aux personnes et à l'environnement	Nombre de morts
		Nombre de blessés
		Mortalité d'animaux sauvages (en tonne)
		Mortalité d'animaux de ferme ou domestique (en tonne)
		Mortalité de poissons d'eau douce (en tonne)
		Mortalité de faune marine (en tonne)
		Surface de sol ou de bassin captant contaminée à long terme et nécessitant un traitement (ha ou km^2)
		Coûts totaux économiques et sociaux des dommages aux biens et à l'environnement en millions de F (hors site)
		Nombre d'habitations ou immeubles détruits ou surface de la zone où des vitres ont été brisées (hors site)
M	Echelle des moyens d'intervention à mobiliser	Nombre de sauveteurs
		Nombre de sauveteurs mobilisés (médecins, pompiers, policiers, …)
		Nombre de personnes confinées chez elles plus de 2 h ou privées d'eau potable, électricité, …, pendant plus de 24 h.

Tabl. 20 - Les sous-échelles et les critères qui servent à l'évaluation des dommages.

- la prise en compte de la quantité de produit dangereux potentiellement impliquée, et de l'efficacité des systèmes de prévention ou de protection présents était délicate. Elle introduisait une part de subjectivité particulièrement difficile à maîtriser.

En 1993, une nouvelle échelle de gravité de six niveaux a été élaborée par un groupe de travail dont le SEI/BARPI était rapporteur pour une période d'essais de deux ans. Par la suite, les critères de cette échelle ont été employés pour établir l'annexe VI de la directive SEVESO II qui fixe les obligations de notification de certains accidents par les États membres. Elle sert à analyser les accidents industriels en tenant compte des points suivants :

- une seule note d'évaluation globale est plus facile à comprendre que trois ;
- les substances potentiellement impliquées sont exclues de l'évaluation de la gravité ;
- un certain nombre de critères environnementaux sont pris en considération ;
- la distinction entre dommages aux personnes à l'intérieur du site concerné, aux secouristes et aux personnes à l'extérieur du site ;
- les seuils de la Directive Seveso sont toujours maintenus pour l'évaluation du danger, mais l'utilisateur doit faire l'équivalence entre les différentes substances impliquées ;
- la gravité G = 5 est considérée comme la note maximale qu'on ait affectée à un accident. Le niveau G = 6 est réservé à des catastrophes non encore vécues encore plus importantes.

En 2003, cette échelle a fait l'objet d'une mise à jour à cause des problèmes rencontrés dans l'attribution d'un indice global recouvrant des conséquences de natures complètement différentes selon les accidents, alors que ces conséquences ne peuvent être directement comparées entre elles : préjudices humains, longueur de

rivière polluée, atteintes à la faune, la flore, dégâts matériels, pertes d'exploitation. Ce qui a rendu difficile le dialogue avec les médias ou les associations de victimes qui comprennent mal l'amalgame des différentes catégories de conséquences réalisé au sein d'un indice unique et opaque.

Par exemple, l'indice actuel de gravité ne différencie pas les trois accidents suivants classés niveau 6 dans cette échelle :

Toulouse : explosion	Crédit Lyonnais : incendie	ERIKA : naufrage
30 morts 5 000 blessés Conséquences économiques: 2 290 M€	56 personnes intoxiquées Conséquences économiques: 298 M€	300 000 oiseaux, 150 ha de parc à huîtres et des milliers de km de côtes touchées Conséquences économiques: 183 M€

L'absence d'information suffisante sur certains paramètres techniques pertinents peut entraîner un sous-classement de l'accident. Cette difficulté ne doit cependant pas être attribuée à l'échelle, mais aux lacunes du dispositif de recueil et de communication des informations sur l'accident par les entités privées et publiques concernées.

Une nouvelle proposition a donc été adoptée pour permettre une utilisation plus fréquente par les exploitants, les organisations professionnelles, les experts, l'inspection, les salariés, les élus, voire une communication plus efficace à destination des associations, médias et du public. Elle consiste à substituer l'indice global actuel de gravité par quatre indices correspondant à des groupes homogènes du point de vue des conséquences :

1) conséquences humaines et sociales ;

2) conséquences environnementales ;

3) conséquences économiques ;

4) quantités de matières dangereuses relâchées.

Sans changer le mode de cotation, les dix-huit paramètres de l'échelle actuelle sont agrégés conformément au tableau présenté ci-dessous, selon ces quatre groupes, correspondant à quatre indices affectés chacun d'un niveau de un à six pour caractériser un accident.

Ainsi, les 3 exemples mentionnés précédemment conduisent aux notes suivantes :

Toulouse : explosion		Crédit Lyonnais : incendie		ERIKA : naufrage	
Humaine	: 6	Humaine	: 4	Humaine	: 0
Environnementale	: 1	Environnementale	: 0	Environnementale	: 6
Economique	: 6	Economique	: 6	Economique	: 6
Matière dangereuse	: 4	Matière dangereuse	: 4	Matière dangereuse	: 0

L'échelle peut permettre à un exploitant, un groupe, un organisme ou un service de mettre en perspective une série d'évènements cohérents pour procéder à leur analyse globale.

Enfin une meilleure connaissance de l'échelle et de ses 18 paramètres techniques par les acteurs locaux peut inciter à la recherche des informations correspondantes et contribuer ainsi à améliorer leur disponibilité. Cette question implique une certaine « publicité » sur cet outil dont l'utilisation est restée jusqu'à présent relativement confidentielle.

	1	2	3	4	5	6
Conséquences humaines						
Nombre total de morts : dont - employés - sauveteurs extérieurs - personnes du Public	- - - -	1 1 - -	2 - 5 2 - 5 1 -	6 - 19 6 - 19 2 - 5 1	20 - 49 20 - 49 6 - 19 2 - 5	≥ 50 ≥ 50 ≥ 20 ≥ 6
Nombre total de blessés avec hospitalisation de durée ≥ 24 h : dont - employés - sauveteurs extérieurs - personnes du Public	1 1 1 -	2 - 5 2 - 5 2 - 5 -	6 - 19 6 - 19 6 - 19 1 - 5	20 - 49 20 - 49 20 - 49 6 - 19	50 - 199 50 - 199 50 - 199 20 - 49	≥ 200 ≥ 200 ≥ 200 ≥ 50
Nombre total de blessés légers soignés sur place ou avec hospitalisation < 24 h : dont - employés - sauveteurs extérieurs - personnes du Public	1 - 5 1 - 5 1 - 5 -	6 - 19 6 - 19 6 - 19 1 - 5	20 - 49 20 - 49 20 - 49 6 - 19	50 - 199 50 - 199 50 - 199 20 - 49	200 - 999 200 - 999 200 - 999 50 - 199	≥ 1000 ≥ 1000 ≥ 1000 ≥ 200
Nombre de tiers sans abris ou dans l'incapacité de travailler (bâtiments extérieurs et outil de travail endommagé…)	-	1 - 5	6 - 19	20 - 99	100 - 499	≥ 500
Nombre N de riverains évacués ou confinés chez eux > 2 heures x nbre d'heures (personnes x nb d'heures)	-	N < 500	500 ≤ N < 5 000	5 000 ≤ N < 50 000	50 000 ≤ N < 500 000	N ≥ 500 000
Nbre N de personnes privées d'eau potable, électricité, gaz, téléphone, transports publics plus de 2 heures x nb d'heures (personne x heure)	-	N < 1 000	1 000 ≤ N < 10 000	10 000 ≤ N < 100 000	100 000 ≤ N < 1 million	N ≥ 1 million
Nombre N de personnes devant faire l'objet d'une surveillance médicale prolongée (≥ 3 mois après l'accident	-	N < 10	10 ≤ N < 50	50 ≤ N < 200	200 ≤ N < 1 000	N ≥ 1 000
Conséquences environnementales						
Quantité d'animaux sauvages tués, blessés ou rendus impropres à la consommation humaine (t)	Q < 0,1	0,1 ≤ Q < 1	1 ≤ Q < 10	10 ≤ Q < 50	50 ≤ Q < 200	Q ≥ 200
Proportion P d'espèces animales ou végétales rares ou protégées détruites (ou éliminées par dommage au biotope) dans la zone accidentée	P < 0,1 %	0,1% ≤ P < 0,5%	0,5 % ≤ P < 2 %	2 % ≤ P < 10 %	10 % ≤ P < 50 %	P ≥ 50 %
Volume V d'eau polluée (en m^3) *	V < 1000	1000 ≤ V < 10 000	10 000 ≤ V < 0.1	0.1 Million ≤ V< 1 Million	1 Million ≤ V< 10 Million	V ≥ 10 Million
Surface S de sol ou de nappe d'eau souterraine nécessitant un nettoyage ou une décontamination spécifique (en ha)	0,1 ≤ S < 0,5	0,5 ≤ S < 2	2 ≤ S < 10	10 ≤ S < 50	50 ≤ S < 200	S ≥ 200
Longueur L de berge ou de voie d'eau nécessitant un nettoyage ou une décontamination spécifique (en km)	0,1≤ L < 0,5	0,5 ≤ L< 2	2 ≤ L< 10	10 ≤ L < 50	50 ≤ L< 200	L ≥ 200
Conséquences économiques						
Dommages matériels dans l'établissement (C exprimé en millions d'€ - Référence 93)	0,1 ≤ C < 0,5	0,5 ≤ C < 2	2 ≤ C< 10	10 ≤ C< 50	50 ≤ C < 200	C ≥ 200
Pertes de production de l'établissement (C exprimé en millions d'€ - Référence 93)	0,1 ≤ C < 0,5	0,5 ≤ C < 2	2 ≤ C< 10	10 ≤ C< 50	50 ≤ C < 200	C ≥ 200
Dommages aux propriétés ou pertes de production hors de l'établissement (C exprimé en millions d'€ - Référence 93)	-	0,05 < C < 0,1	0,1 ≤ C < 0,5	0,5 ≤ C < 2	2 ≤ C < 10	C ≥ 10
Coût des mesures de nettoyage, décontamination ou réhabilitation de l'environnement (exprimé en Millions d'€)	0,01 ≤ C < 0,05	0,05 ≤ C < 0,2	0,2 ≤ C < 1	1 ≤ C < 5	5 ≤ C < 20	C ≥ 20

Tabl. 21 - Paramètres techniques de l'échelle des accidents industriels.

2.3.7. Synthèse

a) Les dommages évalués dans les différentes échelles

D'une manière générale, les échelles sont hétérogènes et difficiles à comparer les unes aux autres. Il ressort néanmoins que l'évaluation est principalement physique ou financière. Les objets étudiés sont essentiellement les dommages aux personnes et aux biens matériels et plus particulièrement les dommages à l'habitat. Ceux-ci ont fait l'objet de descriptions fines utilisables quel que soit l'aléa. Les dommages aux ressources naturelles et aux fonctions sont peu ou pas étudiés.

- **Dommages humains**

Les dommages humains sont mentionnés dans les échelles typologiques (n° 20 et 28) et dans les échelles globales (n° 41, 42, 44 et 45).

Les types de dommages recensés sont présentés en cherchant à suivre l'ordre de gravité qu'ils ont dans les échelles. Ce sont les suivants :

- préjudice moral ou gêne (n° 20) ;
- troubles psychologiques (n° 20) ;
- blessure physique sans séquelle (n° 20) ;
- blessures requérant une assistance médicale simple, sans hospitalisation (n° 28) ;
- blessés légers hospitalisés <24 h (n° 42) ;
- blessures nécessitant une intervention médicale avec hospitalisation, sans risque de mort (n° 28) ;
- blessés hospitalisés >24 h (42) ;
- blessure physique entraînant une invalidité (20) ;
- blessures risquant d'entraîner la mort, nécessitant une intervention médicale immédiate avec hospitalisation (28) ;
- décès (n° 20, 28, 41, 42 et 45).

Un autre type de dommages aux personnes est évoqué (échelle n° 42), pour lequel il n'y a pas à proprement parler de dommages physiques, mais une forte perturbation des conditions de vie. Ce sont :

- les sans abris ;
- les personnes évacuées ou confinées ;
- les personnes devant faire l'objet d'une surveillance médicale.

Les valeurs seuils sont présentées ci-dessous.

Il apparaît qu'elles sont très liées aux événements dont les échelles doivent mesurer les conséquences. Leurs valeurs sont donc spécifiques d'une problématique ou d'un type de phénomène et ne sont pas généralisables.

	1	2	3	4	5	6
Nombre de tiers sans abris ou dans l'incapacité de travailler en raison de dommages matériels à des bâtiments hors établissement	-	1 – 5	6 – 19	20 – 99	100 – 499	≥ 500
Nombre N des riverains évacués ou confinés chez eux pendant plus de 2 heures x nbre d'heures.	-	N<500	500≤N< 5000	5000≤N< 50000	50000≤N < 500000	N ≥ 500000
Nombre N de personnes privées d'eau potable, électricité, gaz, téléphone, transports publics pendant plus de 2 heures x nbre d'heures.	-	N<1000	1000≤N< 10000	10000≤N< 1000000	100000 ≤ N < 1 million	N ≥ 1 million
Nombre N de personnes devant faire l'objet d'une surveillance médicale prolongée (≥ 3 mois après l'accident)	-	N < 10	10 ≤ N < 50	50 ≤ N < 200	200 ≤ N < 1000	N ≥ 1000

Tabl. 22 - Valeurs seuils de l'échelle de risque industriel.

- **Dommages physiques**

Les principaux éléments mentionnés dans les échelles sont repris ci-dessous. Certaines ne mentionnent qu'une liste d'éléments susceptibles d'être endommagés, d'autres identifient une typologie des éléments exposés et des dommages et définissent un mode d'évaluation.

- les biens agricoles : récoltes, animaux, forêts. Il n'y a ni typologie d'éléments exposés, ni typologie de dommages, ni système d'évaluation de ceux-ci ;
- les biens matériels : tel que meubles, véhicules, navires. Il n'y a ni typologie d'éléments exposés, ni typologie de dommages, ni système d'évaluation de ceux-ci ;
- le bâti : sa typologie est constituée en fonction de la vulnérabilité physique aux évènements. La typologie des niveaux de dommages a fait l'objet de la réalisation de nombreuses échelles. L'évaluation des dommages est exprimée en nombre de bâtiments d'un type, d'un niveau d'endommagement donné ;
- les infrastructures et les réseaux : routes, voies ferrées, aéroports, eau, gaz, électricité, téléphone. Il n'y a pas de typologie d'éléments exposés. Une seule échelle (Hazus) définit une typologie de niveaux de dommages pour ces éléments. Elle est assez semblable à celle développée pour le bâti : dommages architecturaux, structurels moyens et graves, destruction. L'évaluation des dommages se fait en km de réseau, de tunnel, m^2 de pistes, nombre de ponts, etc. d'un niveau d'endommagement donné ;
- les fonctions : il s'agit de l'habitabilité des maisons, de l'économie, de l'emploi, du transport, des communications, de la distribution, de la production. Il n'y a pas de typologie des fonctions. Les paramètres qui permettent de décrire le niveau des dommages fonctionnels sont la durée de l'endommagement et le taux de fonctionnalité. L'évaluation des dommages prend en compte le flux affecté par le dysfonctionnement, par exemple le nombre de personnes ou de véhicules. L'évaluation peut aussi être effectuée monétairement par exemple lorsqu'il s'agit de pertes de production ;
- les ressources naturelles : il s'agit des terrains, des cours d'eau, des plans d'eau, des eaux souterraines, du paysage, de la faune et de la flore sauvage ou protégée. Il n'y a pas de typologie des ressources naturelles. La typologie des dommages correspond au taux de modification de la ressource. Le critère d'évaluation est la

quantité de ressources affectées (volume, nombre, surface) et/ou le coût financier de la restauration.

- **Remarques**

La liste des éléments exposés susceptibles de subir des dommages est assez exhaustive dans son principe.

La typologie des dommages au bâti est très développée et semble pouvoir être appliquée aux réseaux et aux infrastructures.

La typologie des dommages aux personnes est assez complète hormis pour ce qui concerne les dommages psychologiques dont la position dans la hiérarchie des dommages ne correspond pas forcément aux observations de terrain.

La typologie des dommages aux fonctions et aux ressources naturelles doit être développée car les échelles qui les mentionnent répondent à des objectifs différents. Si l'on souhaite pouvoir décrire l'ensemble des dommages, une harmonisation doit être faite.

b) Les systèmes d'évaluation

L'analyse des échelles montre que pour évaluer des dommages, deux systèmes d'évaluation sont généralement employés : une évaluation physique et une évaluation financière.

- **L'évaluation physique**

Elle décrit les dommages aux biens et aux personnes et paraît être assez simple. Il suffit de mentionner combien de bâtiments, de m^2, de km sont endommagés et à quel niveau. L'évaluation des dommages humains relève du même principe : nombre de morts, de blessés.

Dans les échelles, l'évaluation physique est codifiée, c'est-à-dire qu'à la description des dommages sont associées une typologie et une quantité d'éléments endommagés. On dit ainsi qu'il y a *x* personnes endommagées de niveau *n*, *y* bâtiments endommagés de niveau *d,* etc.

Toutes les échelles n'ont pas cette rigueur de présentation et c'est seulement par l'association des différentes échelles qu'il est possible d'en construire une selon ce schéma.

Tous les dommages physiques ne sont pas inventoriés, ni leur typologie définie.

L'évaluation des dommages aux fonctions et aux ressources naturelles demande quelques développements en raison de l'hétérogénéité des échelles.

- **L'évaluation financière**

Elle représente un outil de comparaison très pertinent entre les différents types d'évènements. Elle est utilisée à cette fin dans l'échelle des dommages des accidents industriels, dans l'échelle de gravité du MEDD (n° 44) et dans l'échelle LANDSEA (n° 37).

Il faut cependant souligner que la difficulté de l'utilisation de l'évaluation financière dans une échelle de dommages repose dans l'évaluation elle-même : quelle assiette, quelles méthodes ?

Les dommages aux biens et les arrêts de production assurables constituent-ils l'assiette des évaluations ? Faut-il inclure tous les dommages physiques, avec ou sans les pertes de production ou faut-il encore ajouter les dommages indirects, qui sont souvent plus élevés que les dommages aux biens ?

Toutes les règles sont envisageables, mais pour les utiliser dans une échelle, les assiettes doivent être définies et il faut disposer des informations nécessaires.

c) Objectifs des échelles

Les objectifs des échelles sont les suivants :

- **L'évaluation par les experts de l'intensité d'un événement *a posteriori***

C'est typiquement le cas des échelles d'intensité sismique. À partir des dommages observables et de l'échelle, il est possible d'évaluer l'intensité de l'événement et de la cartographier. Ceci permet également d'évaluer le nombre de personnes sans abri et les réparations à prévoir.

L'intérêt de l'échelle est qu'elle permet une évaluation homogène des dommages.

Les résultats de scénarios de prévision de dommages peuvent également être exprimés à l'aide de ces échelles.

- **La mise en œuvre a priori de procédures de mise en sécurité et d'information des populations**

C'est le cas de toutes les échelles d'intensité (événement-dommages), l'une des plus caractéristiques de ce type étant le guide et la carte de vigilance météorologique (n° 8) de Météo-France.

A partir d'un événement prévu d'intensité donnée, les phénomènes peuvent être décrits et des consignes peuvent être données.

En ce cas l'intérêt d'une échelle est grand car l'association de consignes d'urgence à une codification simple permet leur mise en œuvre par un grand nombre de personnes, avec un maximum d'efficacité.

Pour ce qui concerne l'information de la population sur la gravité d'un événement il faut citer l'échelle de risque nucléaire et l'échelle de risque industriel qui « sont élaborées pour permettre de répondre aux besoins des médias et du public en quête de repères sur la gravité des conséquences des accidents ».[20]

- **L'évaluation et la représentation des dommages potentiels**

Les échelles dommages-événement constituent un outil excellent : à partir de la connaissance de l'aléa et en connaissant la vulnérabilité des éléments exposés, il est possible de représenter les dommages potentiels en utilisant les échelles.

Cette démarche est propre à chaque type d'événement. L'utilisation des échelles permet une standardisation dans l'évaluation des dommages.

- **Comparaison d'événements de natures différentes**

Elle est possible avec les échelles de gravité des accidents industriels, avec l'échelle de gravité des dommages du MEDD et avec l'échelle Landsea.

On peut observer que ce sont les seules échelles qui permettent des comparaisons de dommages. Il n'existe par exemple pas d'échelle qui permette de comparer les dommages de plusieurs inondations pas plus qu'il n'en existe pour comparer les dommages de différents séismes.

Il semble qu'il y ait là une lacune car il pourrait être intéressant de comparer des événements correspondant à un même phénomène entre eux.

On peut observer aussi que l'échelle de gravité des dommages du MEDD, si elle est un outil de hiérarchisation des événements et de comparaison globale, n'a pas pour objectif l'analyse et l'évaluation d'événements de moyenne importance.

On ne peut en effet pas dire qu'à l'échelle de petits ou moyens territoires comme des communes, des départements, voire des régions, les seuls critères du nombre de morts ou du coût financier d'un dommage soient suffisants pour évaluer la gravité d'un événement. D'autres critères rentrent en jeu comme les contextes économique, politique ou social.

[20] Source BARPI, Inventaire des accidents technologiques et industriels, nouvelle présentation de l'échelle européenne.

3. Proposition pour une échelle de dommages

3.1. CONSTAT CRITIQUE DES PRATIQUES ACTUELLES ET OBJECTIFS DES TRAVAUX DE RECHERCHE

3.1.1. Objectifs poursuivis

L'objectif poursuivi dans cette étude, est de réaliser une échelle de dommages liés aux cavités souterraines, à l'usage des gestionnaires du risque. Cette échelle doit notamment leur être utile à deux moments importants :

- en période dite de crise, alors que les phénomènes dangereux apparaissent ;
- ou lorsque des mesures de prévention de plus long terme doivent être mises en place.

Cette échelle doit par exemple permettre :

- d'évaluer rapidement les conséquences d'un événement qui vient de se produire ;
- de comparer des événements entre eux ;
- d'évaluer les conséquences possibles d'événements potentiels à partir de scénarios ;
- d'éclairer la mise en place d'une politique de prévention/protection ou d'établir des cartes de risques ;
- de pratiquer des analyses en retour sur l'efficacité des mesures de prévention mises en place.

Ces évaluations doivent pouvoir être faites selon plusieurs points de vue, celui du responsable de la gestion des risques, mais également celui de l'aménageur, de l'industriel, des collectivités, etc.

Cette échelle doit donc être la plus simple et la plus lisible possible pour pouvoir être assimilée par différents utilisateurs, mais elle doit également contenir des informations suffisamment consistantes pour pouvoir mener des analyses fines. Ceci implique que plusieurs configurations d'utilisation peuvent être demandées en fonction du type d'utilisation.

Par ailleurs, on cherchera à pratiquer des évaluations à partir d'éléments homogènes, comparables entre eux, de même niveau, de même nature. Ceci impose de ne pas agréger trop d'informations au moment de l'évaluation pour obtenir des « notes finales » simples peu significatives mais au contraire d'afficher plusieurs indicateurs, représentatifs d'un domaine donné.

Les échelles existantes ont été analysées en tenant compte de ces contraintes, afin d'identifier ce qui est pertinent pour l'échelle en cours de réalisation et ce qui doit être développé.

À partir de cette analyse, le cadre et la méthode de développement de l'échelle ont été définis.

3.1.2. Analyse des échelles existantes

Le tableau ci-dessous récapitule la présentation des échelles faite au chapitre précédent :

	Nom de l'échelle*	Date de réalisation	Type d'échelle	Type d'aléa	Évaluation des dommages						Description des dommages	
						Matériels						
					Aux personnes		Infrastructures	Biens	Aux ressources	Aux fonctions	Qualitative	Quantitative
1	Soloviev	1970	E1	Tsunami	X	X	X	X	X		X	
2	Fujita Pearson	1971	E1	Tornade		X		X	X		X	
3	Saffir Simpson	1971	E1	Cyclone		X	X		X		X	
4	Torro	1972	E1	Grêle	X	X		X	X		X	
5	Murty	1986	E1	Tsunami	X	X	X	X	X		X	
6	Échelle d'avalanche canadienne	1990	E1	Avalanche	X	X		X	X		X	
7	BOM	1992	E1	Cyclone		X	X		X		X	
8	INES	1994	E1	Nucléaire	X			X	X	X	X	
9	Guide et Carte de Vigilance Météorologique (METEO-FRANCE, 2001)	2001	E1	Météo	X	X	X	X	X		X	
10	Échelle d'avalanche française	2002	E1	Avalanche	X	X		X	X		X	
11	Torino	2001	E1	Météorite	X	X	X	X	X		X	
12	Damage state	1973	ET	Séisme		X					X	
13	NCB classification of subsidence damages (NCB, 1975)	1975	ET	Mv.T.		X					X	
14	Classification des dégradations (Bruhn et al, 1982)	1982	ET	Mv.T.		X					X	
15	Classification des dégradations (Bhattacharya et al, 1984)	1984	ET	Mv.T.		X					X	
16	Classification des dégradations (Ji-Xian, 1985)	1985	ET	Mv.T.		X					X	
17	Landslide damage scale (Alexander, 1989)	1988	ET	Mv.T.		X					X	
18	Échelle des niveaux d'intensité DPP		ET	Mv.T.		X					X	
19	Classification des dégradations (Pellisier et al, 1992)	1992	ET	Mv.T.		X					X	
20	Endommagement du bâti (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.		X					X	
21	Endommagement des personnes (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.	X						X	
22	Endommagement des réseaux (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.			X				X	
23	Endommagement des fonctions (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.						X	X	
24	Endommagement des surfaces naturelles (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.					X		X	
25	Classification des dégradations (Burland, 1997)	1997	ET	Mv.T.		X					X	
26	Hazus : Bâti (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme		X					X	
27	Hazus : Infrastructure (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme			X				X	
28	Hazus : Réseaux (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme			X				X	
29	Hazus : Personnes (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme	X						X	
30	Classification des dommages au bâti en béton armé (EMS 98)	1998	ET	Séisme		X					X	
31	Classification des dommages au bâti en maçonnerie (EMS 98)	1998	ET	Séisme		X					X	
32	Landslides damage to buildings (N.H.R.C., 1999)	1999	ET	Mv.T.		X					X	
33	Rossi-Forel (Tiedemann, 1992)	1883	E2	Séisme		X					X	X
34	Mercalli Modifié	1931	E2	Séisme		X					X	X
35	JMA	1949	E2	Séisme		X					X	X
36	MSK (Sponheuer et al, 1964) remplacée par EMS 98	1964	E2	Séisme		X					X	X
37	Landsea	1992	E2	Cyclone								X
38	EMS98	1998	E2	Séisme		X					X	
39	D'intensité des phénomènes volcaniques (BRGM, 1998)	1998	E2	Volcan	X	X	X	X	X		X	X
40	De dommages liés aux tsunamis (Papadopoulos et al, 2001)	2002	E2	Tsunami	X	X	X	X	X		X	X
41	Gravité des phénomènes (préjudices humains) (MEDD)	1990	ED	Mv.T.	X							X
42	Gravité des accidents industriels (BARPI, 1993)	1993	ED	A. Ind.	X	X	X	X	X		X	X
43	Central Damage Value (Blong, 1999)	1999	ED	Divers		X					X	X
44	Échelle de gravité des dommages (MATE, 2002)	2001	ED	Divers	X	X	X	X	X			X
45	Échelle des catastrophes de Bradford (Keller, 1989)	1989	ED	Divers	X							X

En jaune, les échelles couramment utilisées en Europe

Tabl. 23 - Récapitulatif des échelles étudiées.

Les principaux résultats de l'analyse de ces échelles, concernent les points suivants :

- la définition de leur typologie ;
- la mise en évidence de méthodes de description de dommages au bâti ;
- et l'identification des éléments exposés dont l'endommagement est évalué.

a) Typologie des échelles

Plusieurs types d'échelles ont été identifiés. Parmi ceux-ci, les échelles de dommages globales (ED), qui permettent d'évaluer un ensemble de dommages dus à un événement et de comparer les conséquences de différents évènements.

Celles-ci correspondent au type d'échelle mis en place dans cette étude pour les dommages liés aux cavités souterraines.

L'échelle du BARPI et l'échelle de gravité des dommages du MEDD sont particulièrement intéressantes à analyser.

L'échelle du BARPI, modifiée en 2002 représente les dommages dus à un événement à partir de quatre critères qui permettent d'évaluer les conséquences humaines, environnementales et économiques ainsi que les quantités de matières dangereuses perdues ou rejetées lors de l'événement. C'est la seule échelle qui décrit un événement selon différents critères, en ne cherchant pas explicitement à les agréger. Sa toute récente mise en place (2002) est le résultat des dernières analyses du BARPI sur les fonctionnalités d'une échelle pour décrire des accidents industriels. Cette analyse souligne en particulier que des accidents industriels ayant de fortes conséquences environnementales mais n'occasionnant que peu ou pas de morts et de blessés directs (Erika) ne sont pas strictement comparables avec des accidents industriels provoquant des blessés ou ayant de très forts impacts économiques (AZF). C'est pourquoi l'évaluation des dommages liés aux événements industriels est représentée par un profil et non par une note globale.

Cette analyse correspond à celle qui est précisément menée ici pour la réalisation de l'échelle des dommages dus aux cavités souterraines.

L'échelle du MEDD permet, à partir des dommages humains et financiers, de comparer des événements de nature différente. Les dommages humains et les coûts des dommages aux biens sont regroupés par tranche. Tout événement fait l'objet d'une évaluation financière et/ou humaine, ce qui permet de le caractériser. Cette évaluation simple permet de comparer des événements de nature très différente comme des glissements de terrain, des inondations, des cyclones, des séismes, etc. Les événements recensés et évalués par le MEDD sont archivés afin d'alimenter une base de données.

L'échelle des dommages proposée ici développera un lien avec l'échelle du MEDD afin que les critères d'évaluation pour les biens et les personnes soient identiques et que l'alimentation de la base de données existante puisse être effectuée.

b) Description de dommages

Dans l'ensemble, les échelles évaluent surtout les dommages aux personnes et les dommages au bâti. Ceci s'explique par le fait que le bâti est l'un des dommages les plus fréquents et que les systèmes de garantie par les assurances y sont généralement rattachés.

L'analyse des dommages qui affectent les constructions a généralement pour objet la mesure de l'intensité des événements qu'ils subissent. Le domaine du risque sismique est à cet égard particulièrement riche car les dommages au bâti ont fait l'objet de travaux très importants et la méthodologie de leur description y est bien développée.

La réalisation de l'échelle des dommages liés aux cavités souterraines s'inspirera très fortement de cette méthodologie.

c) Identification des éléments exposés dont l'endommagement est évalué

Les dommages aux infrastructures, au milieu naturel, aux ressources ainsi qu'à l'organisation fonctionnelle de la vie quotidienne sont peu pris en compte, hormis dans des échelles récentes, telles que l'échelle Météo ou l'échelle du BARPI lorsqu'elles s'intéressent en particulier aux dysfonctionnements collectifs.

Les autres échelles étudiées ont pour objet l'évaluation des dommages au bâti et aux personnes.

L'échelle de dommages proposée ici devra donc développer une méthodologie pour caractériser et évaluer des dommages aux éléments physiques ainsi qu'aux différentes fonctionnalités de la vie collective.

3.1.3. Caractéristiques de l'échelle de dommages proposée

a) Critères d'évaluation des dommages

On a vu dans la présentation des dommages liés aux cavités souterraines, que les dommages sont pratiquement toujours caractérisés par le recensement des dommages physiques aux biens et aux personnes.

La description de ceux-ci est généralement accompagnée d'une évaluation sommaire des coûts qui y sont liés, et d'une description des dysfonctionnements à plus ou moins long terme qui en résultent.

Au-delà de ces descriptions factuelles, les conséquences de l'événement sont analysées presque toujours sur les plans de l'économie et du social, qu'il s'agisse de l'économie des particuliers sinistrés, de la commune ou de la Région dont le développement est compromis ou des problèmes sociaux posés par le relogement de populations plus ou moins fragiles. Dans le contexte des anciennes exploitations minières, la mesure de l'impact social et économique d'un dommage est en effet particulièrement importante.

Les conséquences sont également appréhendées en termes politiques, environnementaux et médiatiques. Ainsi lors des affaissements survenus à l'aplomb des mines de fer lorraines, les conséquences ont été importantes puisque ce sont les élus -notamment locaux- qui ont proposé de modifier le Code minier pour tenir compte d'une situation complexe qui apparaissait de façon nouvelle et ceci sous la pression des associations relayées par les medias pendant plusieurs années.

Les cas présentés plus loin se veulent représentatifs mais ne sont pas exhaustifs. Il existe en effet d'autres situations où des critères d'évaluation différents marquent un événement de façon plus spécifique. Ces systèmes d'évaluation ne doivent donc pas être fermés et pourront être étendus à d'autres critères que ceux qui sont évoqués plus haut.

L'échelle développée aura donc pour objet :

- dans un premier temps, l'identification, la description, l'analyse et l'évaluation des dommages non seulement **physiques** mais également **fonctionnels** qui résultent des altérations physiques ;
- ensuite l'évaluation des conséquences ou des impacts économiques, sociaux, politiques et environnementaux.

b) Nombre de niveaux

Le nombre de niveaux des échelles examinées est très variable, de trois à douze.

Les échelles ayant de nombreux niveaux ont en général pour objectif la description d'un phénomène, chaque seuil n'étant pas significatif de dommages. Ainsi les échelles sismiques, graduées de I à XII n'ont une signification par rapport aux dommages qu'à partir du niveau VI.

S'agissant d'une échelle synthétique, dont l'objet est d'exprimer la gravité d'un dommage, il a paru pertinent de retenir quatre niveaux pour exprimer les dommages, l'absence de dommages ne faisant pas partie de l'échelle ou prenant la valeur 0.

Un nombre pair a été choisi afin d'éviter que les responsables de la notation ne choisissent une note neutre, médiane et qu'ils soient amenés à prendre position en marquant une tendance, plutôt faible ou plutôt forte.

c) Critères d'opérationnalité

Cette échelle est avant tout réalisée pour les responsables de la gestion des risques. Ceux-ci se trouvent dans différentes situations selon qu'un événement vient d'arriver, que la reconstruction est en cours ou qu'il faut prendre en compte les risques dans un schéma d'aménagement.

Les modes d'utilisation de l'échelle sont présentés selon les phases de la gestion des risques telles qu'elles ont été exposées au chapitre 2.

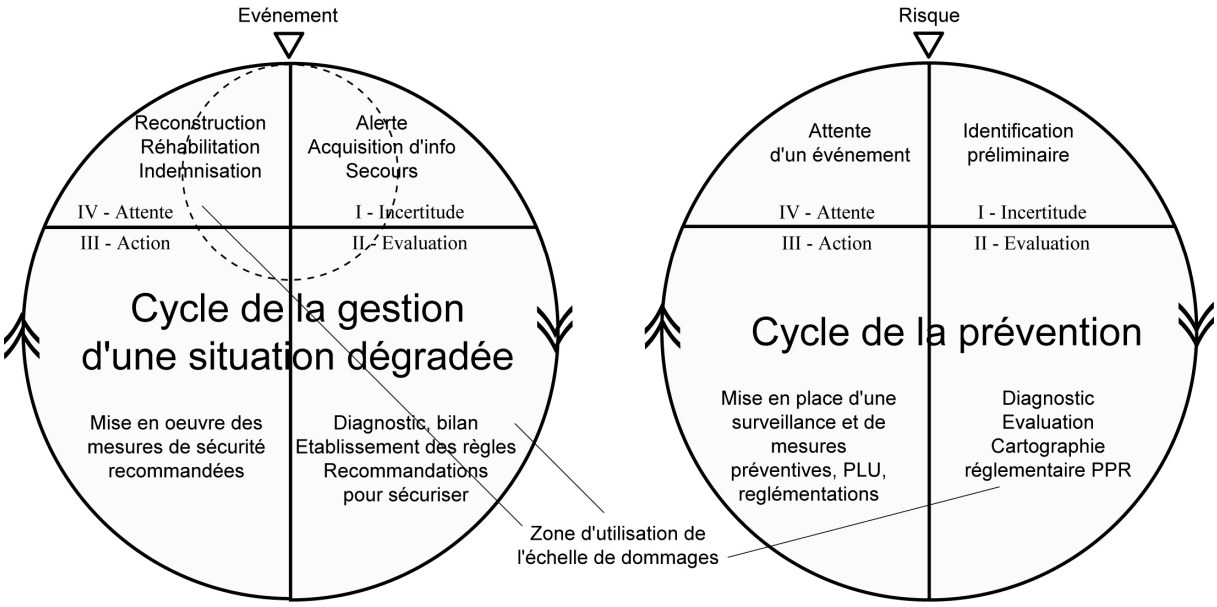


Fig. 31 - Les phases de la gestion du risque et le positionnement de l'échelle.

Dans le cycle de gestion d'une situation dégradée ou susceptible de l'être, l'étape de diagnostic et de bilan nécessite que les dommages physiques **et** fonctionnels soient identifiés. Les dommages fonctionnels doivent être entièrement intégrés à l'établissement du diagnostic car en période de crise, la réparation à l'identique des éléments physiques détruits n'est bien souvent pas possible. En revanche les altérations des différentes fonctionnalités doivent être immédiatement identifiées pour que des mesures palliatives soient mises en œuvre.

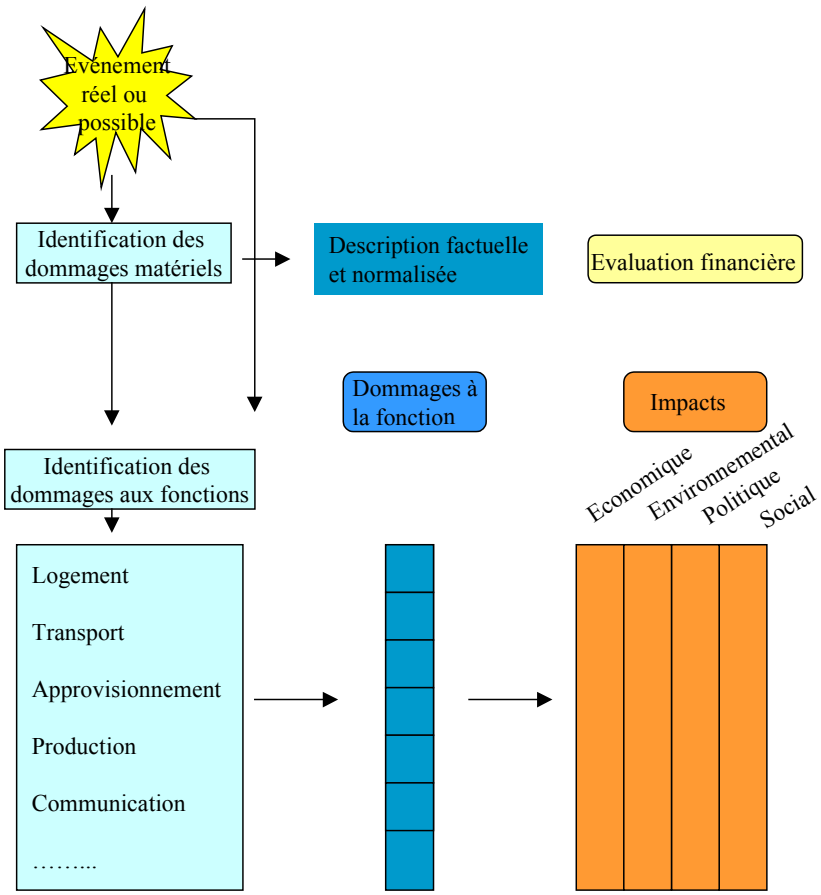
L'analyse menée postérieurement à l'événement, pendant la phase de réhabilitation et de reconstruction, correspond à un retour d'expérience. L'utilisation de l'échelle permet alors de structurer les informations et de confronter différents types de situations. Cette démarche permettra une meilleure prise en compte du risque pour l'organisation à venir des secours.

Dans le cycle de la prévention, les dommages sont évalués à partir de scénarios qui sont basés sur l'analyse de l'aléa et des effets des différents phénomènes correspondant pouvant se produire. L'analyse des dommages et leur évaluation sur l'échelle peut permettre d'analyser les facteurs de vulnérabilité fonctionnels, mais aussi économiques, sociaux, politiques ou médiatiques propres au territoire étudié. Cette analyse permet une meilleure prise en compte de la notion de risque et de son expression sur les territoires concernés.

3.2. MÉTHODOLOGIE

3.2.1. Approche opérationnelle

Le schéma ci-dessous présente la méthodologie développée pour l'évaluation des dommages :



Comme il l'est indiqué précédemment, la méthode proposée repose

- sur l'identification des dommages physiques et fonctionnels ;
- sur leur évaluation ;
- sur l'estimation de leurs conséquences dans les domaines financiers, économiques, sociaux, politiques et médiatiques...

Elle s'appuie sur quelques grandes lignes d'actions :

- développement d'une méthodologie d'identification, de description et d'évaluation des dommages ;
- transfert de ces éléments sur l'échelle elle-même, outil de représentation ;
- application aux cas concrets retenus ;
- analyse de pertinence pour un ensemble de cas plus vaste.

Les paragraphes ci-dessous présentent la méthode d'analyse, de description et d'évaluation des dommages, ainsi que la constitution de l'échelle.

Les chapitres suivants montrent la mise en œuvre de l'échelle sur les cas concrets et en analysent les résultats.

3.2.2. Identification des dommages

Les éléments introductifs présentés précédemment lors de l'analyse du contexte dans lequel se produisent les phénomènes liés aux cavités montrent qu'aux dommages physiques aux personnes et aux biens sont associés des dysfonctionnements, des difficultés sociales, des problèmes d'aménagement qu'il est difficile d'analyser rigoureusement et de quantifier.

Cette diversité est en effet difficile à décrire car il n'existe pas de cadre standardisé permettant un inventaire clair et exhaustif. Selon que les dommages sont décrits par les sinistrés, les assureurs, les collectivités, les sociologues ou les économistes, les termes utilisés et le contenu même des dommages varient.

Il est donc apparu nécessaire dans le cadre de ce travail de définir une typologie des dommages.

Des recherches menées sur les enjeux ont montré qu'il est pertinent de distinguer les éléments physiques d'une part, et les fonctionnalités ou fonctions d'autre part, les premiers étant le support des seconds.

Par exemple, la « fonction transport » est ainsi assurée par des hommes, des routes, des ouvrages, des trains… Ceci n'est cependant pas suffisant pour arriver à une évaluation pertinente si l'on ne connaît pas les conséquences ou les impacts des altérations de ces fonctions. Dire que la « fonction transport » est interrompue ne permet pas d'approcher les véritables dommages si l'on ne mesure pas les conséquences que ceci a entraîné sur le chômage technique d'une usine ou sur la mise en cause des élus à travers les médias.

La typologie des éléments physiques et des fonctions, les modes d'évaluation retenus pour l'étude sont présentés ci-dessous.

Les **éléments physiques matériels** considérés sont représentés par les biens, les personnes et le milieu naturel (atmosphère, sol, sous-sol, paysage, eaux, ressources…).

Les **fonctions** sont les activités qui permettent à une collectivité de vivre et de s'organiser. Ce sont par exemple les fonctions logement, transport, alimentation, etc.

La distinction des éléments physiques et des fonctions permet de décrire des dommages selon les exemples ci-dessous :

- pour des dommages à des bâtiments d'habitation :
  - · dommages physiques : dommages graves à la structure du bâti, ce qui signifie que le bâtiment est inhabitable,
  - · dommages fonctionnels : la fonction logement est assurée par le relogement chez des voisins, ou dans la famille, ou dans un gymnase, suite à une évacuation de 10 jours. On observe dans ce cas une dégradation de la fonction logement, qui s'apprécie en termes de confort, d'éloignement du lieu d'habitation habituel, de durée du relogement ;

- pour des dommages à une route :
  - · dommages physiques : destruction de la structure de la route, déformations très importantes, ce qui signifie que la route est inutilisable,
  - · dommages fonctionnels : la fonction transport initialement assurée par la route détruite est remplacée pendant deux mois par un itinéraire de contournement de 10 km pour les véhicules légers, et par la traversée d'une vallée voisine pour les poids lourds. On évalue la dégradation de la fonction en termes de perte d'efficacité (augmentation du kilométrage) et de durée.

La liste des éléments physiques et des fonctions retenus pour la réalisation de cette étude est présentée ci-dessous :

a) Eléments physiques

Cette liste est réalisée à partir des travaux de recherche réalisés au BRGM sur les enjeux, des travaux menés par le MEDD et également à partir des éléments identifiés dans les échelles présentées au paragraphe 3.3. Elle a pour objectif de poser les principes de la méthode d'identification des dommages mais ne prétend pas à l'exhaustivité :

- personnes ;
- biens :
  - · matériels,
  - · constructions,
  - · habitat,
  - · bâtiments stratégiques (mairie, caserne de pompiers, gendarmerie, poste de police, établissements de soins, etc.),
  - · écoles, collèges, lycées,
  - · musées, sites culturels, lieux de culte, établissements sportifs, lieux de réunion,
  - · établissements agricoles, commerciaux et industriels (dont industries dangereuses Seveso),
  - · établissements touristiques (campings, hôtels),
  - · infrastructures et réseaux,
  - · gare, aéroport, voie ferrée, routes, autres réseaux de transport de personnes et de marchandises,
  - · eau : captage, château d'eau, réseau d'alimentation,
  - · électricité, gaz : centrales, transformateurs, réseau,
  - · communication : central, réseau,
  - · déchets : centres de traitement, de stockage ;
- milieu et ressources :
  - · végétal,
  - · animal,
  - · sol,

- sous-sol,
- eaux de surface et souterraines,
- paysage,
- atmosphère.

b) Fonctions

Les fonctions retenues pour cette étude, ainsi que les actions qui y correspondent sont les suivantes :

Habitat	Loger, se loger
Transport	Déplacer, transporter
Approvisionnement	Alimenter en eau, énergie, nourriture etc.
Gestion des déchets	Collecter, traiter et éliminer les déchets
Production	Produire des biens et des services
Communication	Donner, échanger de l'information (radio, TV, presse écrite, téléphone, Internet, etc.)
Education	Former, éduquer
Gouvernance	Gouverner, administrer, gérer
Culture/sport/loisir	Transmettre, créer, échanger des biens ou des activités culturels, sportifs ou de loisirs
Sécurité publique	Assurer et bénéficier de conditions de vie sûres
Santé	Exercer la médecine et accéder aux soins
Culte	Pratiquer une religion

3.2.3. Évaluation des dommages

Pour décrire les dommages dus à un événement, et permettre la comparaison avec d'autres dommages dus à d'autres évènements, il est nécessaire de disposer non seulement de la typologie des éléments affectés, mais aussi d'un mode de description des niveaux de dommages.

Ainsi, pour décrire les dommages aux habitations dus à l'effondrement de Chanaz, c'est-à-dire trois maisons fissurées, il est nécessaire de codifier le niveau de dommages correspondant à la fissuration. Pour cela il faut disposer d'un critère d'évaluation des dommages, puis situer la fissuration par rapport à ce critère.

Le critère d'évaluation des dommages au bâti classiquement retenu est le taux d'endommagement total du bâti. En ce cas, pour décrire de façon codifiée les dommages de Chanaz, à partir d'une relation entre la fissuration et le taux d'endommagement du bâti, il sera possible de décrire les dommages de façon standardisée.

De même, pour décrire des dommages aux personnes, il faut pouvoir évaluer et comparer les traumatismes psychologiques dus à l'évacuation ou à la perte d'une maison, avec les blessures physiques dues à l'endommagement du bâti. Il sera donc nécessaire de retenir un critère d'endommagement des personnes (leur opérationnalité par exemple) et d'établir une relation entre les différents dommages aux personnes et ce critère.

L'évaluation des dommages nécessite donc la réalisation d'échelles typologiques.

Les échelles déjà développées servent de base à la constitution des échelles typologiques à réaliser.

Celles-ci sont très nombreuses comme le montre la lecture du paragraphe 2.3. Les travaux menés dans le domaine sismique sont très complets et peuvent utilement servir de modèle de base à l'évaluation des dommages présentée dans ce paragraphe.

Pour ce qui concerne la nature des éléments exposés, les échelles typologiques sont particulièrement développées pour les dommages au bâti.

Les dommages aux infrastructures et aux réseaux sont évalués dans peu d'échelles et lorsqu'ils sont décrits, ils suivent le mode de description et d'évaluation développé pour le bâti.

Pour les autres biens, il ne se dégage pas de méthode de description.

Pour les dommages aux **fonctions**, deux échelles seulement abordent le problème. Elles ont en commun de retenir pour paramètres d'évaluation la **durée de l'endommagement et le taux de fonctionnalité** (% encore opérant).

L'analyse du mode d'évaluation des dommages au bâti a permis d'identifier une méthode pertinente et de l'appliquer à la description des dommages de l'ensemble des éléments physiques et de mettre ainsi en place une typologie standard de dommages aux biens.

Les critères d'évaluation des dommages aux fonctions, durée et taux de fonctionnalité ont paru insuffisants car ils ne rendent pas compte de l'importance stratégique de la fonction. Par exemple, dans le cas d'une coupure complète de route, la seule indication de la durée et de l'interruption ne rend pas compte du fait qu'il peut s'agir du seul accès à un village. Un critère rendant compte de **l'importance stratégique** de la fonction endommagée a donc été introduit.

La description des échelles typologiques développées est présentée ci-dessous.

a) Echelles typologiques de dommages matériels

- **Dommages au bâti**

L'analyse des nombreuses échelles de dommages au bâti montre que deux types de dommages sont à distinguer : les dommages structurels et non structurels.

Dommages structurels

Il est possible d'assimiler les dommages structurels à des dommages qui affectent l'ossature, la charpente de l'élément étudié. Ces dommages affectent l'équilibre, l'intégrité de l'élément endommagé et par conséquent son mode de fonctionnement, ses capacités à remplir les fonctions essentielles qui lui sont dévolues. Lorsque plusieurs éléments structurels sont affectés, c'est le bien qui est menacé de destruction, pour l'essentiel, il n'assure plus sa fonction. Il est nécessaire et urgent de le réparer car il est inutilisable et/ou menacé de destruction à brève échéance.

Dommages non structurels

Comme l'indique leur nom, ils sont caractérisés par le fait que l'équilibre ou l'intégrité de l'objet ne sont pas menacés. Par contre, certaines des fonctions que le bien doit assurer ne le sont plus. La remise en état n'a pas nécessairement un caractère d'urgence si l'on accepte que l'usage du bien puisse être réduit. C'est par exemple le cas d'une maison dont les fenêtres ou les portes ne ferment plus très bien.

L'association des dommages structurels et non structurels pour trois échelles de dommages dus à des séismes (Hazus[21], EMS98 et Whitman[22]) est présentée ci-dessous. Celles-ci sont regroupées en quatre niveaux de dommages, conformément au découpage adopté pour l'échelle développée.

Echelle		Désordre	Niveaux de dommages								
Niveaux de dommages			1			2		3	4		
24	HAZUS		1			2		3	4		
		Non structurel	Léger			Modéré		Important	Total		
		Structurel	Léger			Modéré		Important	Total		
28 29	EMS98		1			2		3	4		5
		Non structurel	Léger			Modéré		Lourd	Très lourd		-
		Structurel	Nul			Léger		Modéré	Lourd		Très lourd
			0	1	2	3	4	5	6	7	8
11	Whitman	Non structurel	Nul	Léger	Localisé	Répandu	Considérable	Extensif	Total	Bâtiment condamné	Destruction
		Structurel	Nul	Nul	Nul	Invisible	Mineur	Considérable	Majeur		

Tabl. 24 - Dommages structurels et non structurels au bâti dans les échelles de dommages dus aux séismes.

Pour ces échelles, il est pertinent d'associer l'évaluation des dommages structurels et non structurels. Sur ce principe, une échelle de quatre niveaux, correspondant à la synthèse des échelles ci-dessus est proposée.

Niveau de dommage	Désordres sur les éléments		Indicateurs pour les dommages aux bâtiments
	Structuraux	Non structuraux	
1	Aucun à négligeables	Légers	Quelques fissures dans les recouvrements des éléments structuraux (poutres) les plus sollicités apparaissent. D'autres fissures sont visibles dans les éléments non structuraux. L'ELS[1] est atteint sur de courtes périodes avec des sollicitations dynamiques restreintes.
2	Légers	Modérés à significatifs	Un élément structural est fissuré de façon significative, l'ELS est dépassé. Les éléments non structuraux (remplissages, cloisons…) peuvent être assez significativement fissurés
3	Modérés à significatifs	Lourds	Plusieurs éléments structuraux sont fissurés fortement (piliers, poutres…), certains sont détruits. L'ELU[2] est dépassé pour de nombreuses parties du bâtiment. Les éléments non structuraux peuvent être totalement détruits (planchers, murs, dalles…).
4	Très lourds	Totaux	De nombreux éléments structuraux sont détruits, ceci entraîne la destruction de tout ou partie du bâtiment.

[1] ELS : état limite de service. [2] ELU : état limite ultime

Tabl. 25 - Proposition pour une échelle typologique de dommage au bâti.

Le principe de réalisation de cette échelle destinée aux bâtiments est développé pour les autres éléments physiques :

[21] Développée et utilisée aux Etats-Unis.
[22] Cette échelle n'est pas utilisée.

- pour les réseaux routiers, l'échelle, dont les indicateurs sont issus de Hazus, est la suivante :

Niveau de dommage	Désordres sur les éléments		Indicateurs pour les dommages aux infrastructures/réseaux
	Structuraux	Non structuraux	
1	Aucun à négligeables	Légers	Quelques fissures dans les revêtements apparaissent.
2	Légers	Modérés à significatifs	Les revêtements sont affectés de façon significative et localement la structure de la chaussée peut être atteinte.
3	Modérés à significatifs	Lourds	La structure est atteinte (ruptures avec déplacements significatifs) à plusieurs endroits.
4	Très lourds	Totaux	La totalité de la structure est détruite et des déformations très importantes apparaissent en plusieurs endroits.

Tabl. 26 - Proposition pour une échelle typologique de dommage aux réseaux routiers.

- pour les réseaux enterrés, selon la même démarche, avec des indicateurs issus de Hazus, l'échelle est la suivante :

Niveau de dommage	Désordres sur les éléments		Indicateurs pour les dommages aux infrastructures/réseaux enterrés
	Structuraux	Non structuraux	
1	Aucun à négligeables	Légers	Les terrains de couverture, les gaines sont déformés localement, les conduites ne sont pratiquement pas sollicitées
2	Légers	Modérés à significatifs	Les terrains de couverture, les gaines sont déformés de façon notable, les conduites sont sollicitées au-delà de l'ELS[1], des fissures peuvent apparaître localement.
3	Modérés à significatifs	Lourds	Les conduites sont fissurées soit de façon large localement, soit de façon plus réduite à plusieurs endroits, l'ELU[2] a été dépassé localement.
4	Très lourds	Totaux	Les conduites sont fissurées, ouvertes et fortement déformées à plusieurs endroits.

[1] ELS : état limite de service [2] ELU : état limite ultime

Tabl. 27 - Proposition pour une échelle typologique de dommage aux réseaux enterrés.

- **Dommages aux milieux**

Pour les milieux naturels, la démarche est la même. La notion de dommages structurels et non structurels a été remplacée par la notion d'irréversibilité ou de réversibilité. Le libellé des indicateurs reflète l'esprit dans lequel l'échelle est construite. Il ne s'inspire pas d'échelles connues car il n'en a pas été identifié. En effet, celle de Leone qui est la seule à mentionner les dommages aux ressources, parmi les échelles étudiées, ne correspond pas à la méthode d'évaluation des dommages retenue.

Niveau de dommage	Dommages sur les éléments		Indicateurs pour les dommages aux ressources et milieux naturels
	Irréversibles	Réversibles	
1	Aucun à négligeables	Légers	Altérée mais exploitable
2	Légers	Modérés à significatifs	Altérée fortement mais exploitable non sans intervention
3	Modérés à significatifs	Lourds	Altérée fortement mais non exploitable
4	Très lourds	Totaux	Détruite

Tabl. 28 - Proposition pour une échelle typologique de dommage aux ressources et aux milieux naturels.

- **Dommages aux personnes**

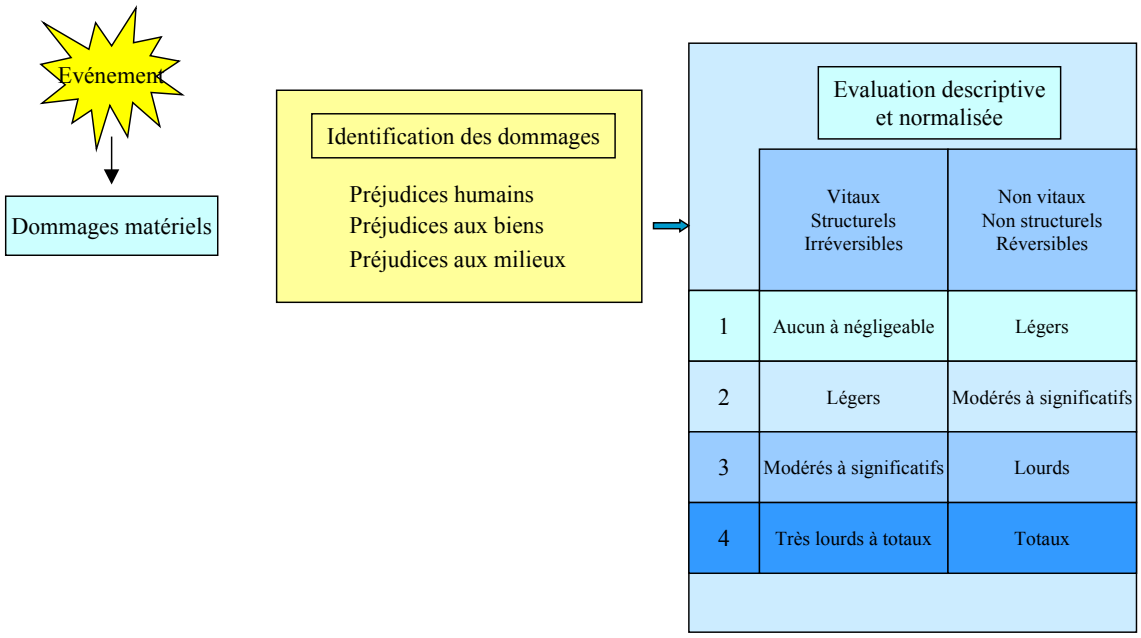
Pour les personnes, le principe développé est le même. Les notions d'éléments structuraux et non structuraux sont remplacées par celles d'éléments vitaux ou non vitaux. Les indicateurs retenus reflètent le principe de construction de l'échelle. Ils ne correspondent pas aux descriptions de niveaux de dommages présentées dans les échelles précédemment étudiées : Hazus décrit les dommages aux personnes en fonction des besoins d'intervention d'urgence et Leone évalue les dommages selon l'impact qu'ils ont sur la fonctionnalité des personnes.

Niveau de dommage	Désordres sur les éléments		Indicateurs pour les dommages aux personnes
	Vitaux	Non vitaux	
1	Aucun à négligeables	Légers	Les organes vitaux ne sont pas atteints, quelques blessures superficielles légères.
2	Légers	Modérés à significatifs	Un organe vital est atteint de façon momentanée, les blessures superficielles sont nombreuses.
3	Modérés à significatifs	Lourds	Plusieurs organes vitaux sont atteints simultanément mais peuvent être remis en état à terme, les blessures superficielles sont très nombreuses.
4	Très lourds	Totaux	Plusieurs organes vitaux sont atteints sans pouvoir être rétablis.

Tabl. 29 - Proposition pour une échelle typologique de dommage aux personnes.

- **Présentation des niveaux de dommages physiques ou matériels standardisée**

La figure ci-dessous présente la synthèse des propositions faites ci-dessus.



b) Échelles de dommages aux fonctions

L'analyse des quelques échelles évaluant les dommages fonctionnels permet de distinguer deux critères d'évaluation : la nature du dommage (coupure totale ou partielle) et sa durée.

Comme il est indiqué précédemment, ces deux critères semblent insuffisants pour décrire les dommages fonctionnels car ils ne permettent pas la prise en compte du trafic desservi par une infrastructure ou du caractère peu ou pas remplaçable de la fonction.

Ainsi, pour la construction des échelles typologiques de dommages aux fonctions, les critères suivants sont pris en compte :

- l'intensité du dommage (ID). Ce critère mesure l'intensité ou l'amplitude physique de l'endommagement, indépendamment de son impact sur les usagers de la fonction. Il est généralement lié à l'importance des dommages qui touchent les éléments physiques supports de la fonction. C'est par exemple la coupure totale ou partielle d'une route ;
- la durée du dysfonctionnement (D). Ce critère participe à l'importance du dommage fonctionnel. Plus la durée d'indisponibilité ou de fonctionnement en régime dégradé de la fonction est grande, plus le dommage à la fonction est important ;
- l'importance Stratégique ou Fonctionnelle (ISF). Ce critère exprime l'importance quantitative ou qualitative des usagers (ou des usages) de la fonction. La capacité palliative en est un bon indicateur. C'est par exemple le fait qu'une route est l'unique voie de communication d'un village ou qu'une autoroute transfrontalière est l'unique voie de passage pour poids lourds.

Les quatre niveaux retenus pour l'échelle peuvent être exprimés, pour chacun de ces critères, de la façon suivante :

- **Intensité du dommage fonctionnel**

Niveaux de dommages	1	2	3	4
Critères pour l'intensité du dommage fonctionnel ID	**Altération** La fonction est maintenue mais dans des conditions dégradées ou qui exigent la mobilisation de moyens supplémentaires minimes	**Dégradation** La fonction est instable, elle est sujette à des interruptions intempestives ou n'est assurée que partiellement	**Interruption** La fonction est complètement interrompue pendant une durée indéterminée, mais sa remise en service est envisagée	**Destruction** La fonction n'est plus assurée sauf par des moyens alternatifs. Sa remise en service définitive exige le remplacement du support actuel ou l'abandon définitif d'une partie du service.

Pour les différentes fonctions, ces dommages peuvent être décrits de la façon suivante :

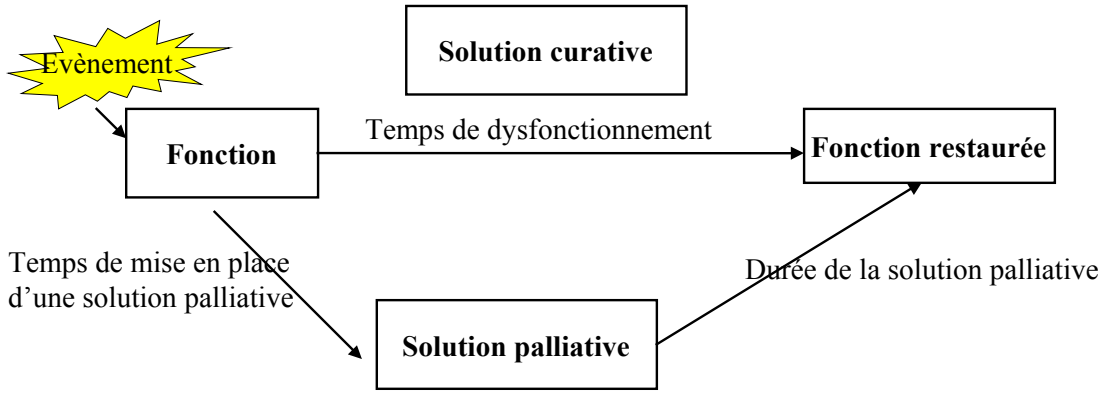
Niveau de dommages	1	2	3	4
Expression générique	**Altération**	**Dégradation**	**Interruption**	**Destruction /inopérabilité**
Logement	Baisse de confort	Occupation partielle	Impossibilité prolongée d'habiter dans le logement	Remplacement définitif du logement
Transport	Ralentissement	Circulation alternée ou déviation courte	Fermeture prolongée ou déviation longue	Remplacement définitif des moyens de transport
Approvisionnements	Eau en quantité limitée, baisse de pression, baisse de voltage, …	Coupures intempestives	Coupure prolongée	Remplacement définitif des moyens d'approvisionnement
Gestion des déchets	Assurée dans des conditions dégradées	Service partiel ou réduit, fuites, …	Arrêt temporaire ou prolongé du service	Remplacement définitif des moyens de gestion des déchets
Communication	Parasitage, bruit, saturation fréquente	Interruptions intempestives	Interruption prolongée	Remplacement définitif des moyens de communication
Production	Production réduite faiblement	Production partiellement interrompue ou limitée	Production arrêtée de façon temporaire ou prolongée	Remplacement définitif des moyens de production
Education	Dégradation des conditions (mais persistance du service)	Annulations, reports (réduction du service)	Arrêt prolongé du service	Remplacement définitif des moyens d'éducation
Sécurité	Organisations et systèmes opérationnels au prix d'actions minimes supplémentaires.	La sécurité n'est pas assurée en permanence ou totalement (rupture de réseaux de sécurité, mobilisation des services sur d'autres actions)	Absence prolongée de sécurité, inadéquation des moyens aux besoins	Aucun moyen technique n'existe pour se mettre à l'abri (nucléaire, volcanisme)
Santé	Conditions d'exercice dégradées mais fonction maintenue	Services limités ou partiels	Services interrompus temporairement ou de façon prolongée	Aucun moyen technique n'existe pour se soigner
Gouvernance	Début de rumeurs, manque de communication, de transparence	Conflit de décision, divergence des positions officielles	Démission officielle ou de fait, disparition temporaire d'autorité, substitution du niveau normal par un niveau supérieur	Bouleversement de la gouvernance
Culture/sport/loisir	Pratique persistante en condition dégradée	Réduction d'activité (partage d'un stade)	Arrêt temporaire ou prolongé	Remplacement définitif des moyens de culture, sport ou loisirs
Culte	Pratique persistante en condition dégradée	La pratique n'est possible que partiellement ou temporairement	Arrêt temporaire ou prolongé	Remplacement définitif des moyens de pratique du culte

- **Durée du dysfonctionnement**

Les quatre niveaux de dommages retenus pour la durée d'un dysfonctionnement sont présentés ci-dessous. Les valeurs retenues correspondent aux valeurs retenues par Hazus.

Niveaux de dommages	1	2	3	4
Critères pour la durée de dysfonctionnement D	De l'ordre de la **journée** ou moins	De l'ordre de la **semaine**	De l'ordre du **mois**	De l'ordre de l'**année** ou plus

La définition de la durée du dysfonctionnement peut être faite à partir de la description suivante :



Selon que l'on se situe en période de gestion de crise ou de gestion des risques, la durée du dysfonctionnement correspond soit à la durée de mise en place de la solution palliative soit au temps de restauration de la fonction.

- **Importance stratégique ou fonctionnelle**

Quatre niveaux ont été retenus, qui ont pour objectif de permettre l'évaluation de l'importance d'une fonction. Ils représentent le nombre de personnes concernées, l'importance de l'aire géographique concernée, du groupe humain affecté ou encore la difficulté à remplacer la fonction déficiente.

Le tableau page suivante présente ces différents critères selon les quatre niveaux retenus pour l'échelle.

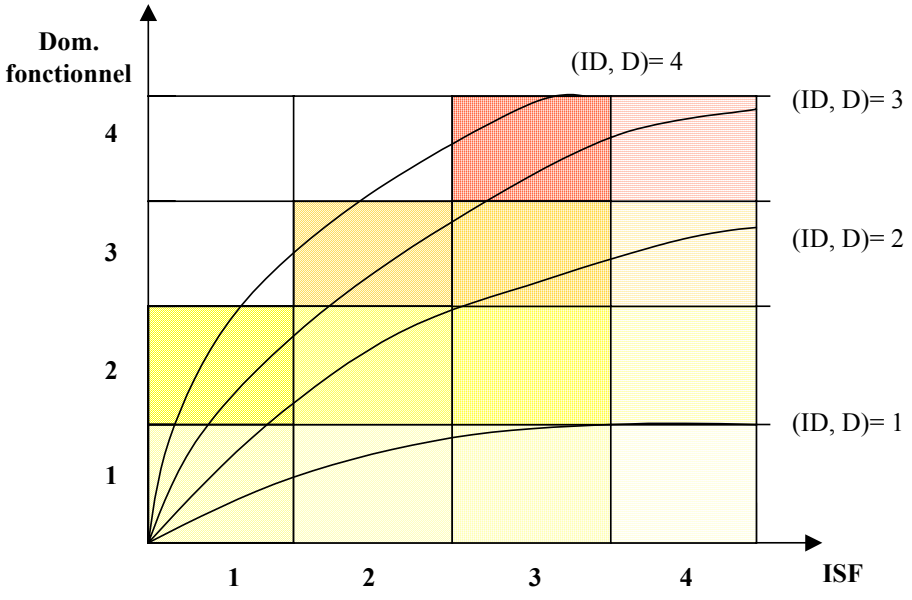
L'importance stratégique d'une fonction peut varier dans le temps. Par exemple l'accès à certaines zones touristiques n'a pas la même valeur pendant la période de vacances ou en dehors.

Niveaux de dommages	1	2	3	4
Critères pour l'importance stratégique ou fonctionnelle ISF	**Individuelle - Locale**	**Locale - Régionale**	**Régionale - Nationale**	**Nationale ou plus**
Nb personnes concernées	Le dommage n'affecte qu'un ou quelques usagers.	Le dommage affecte une dizaine d'usagers	Le dommage affecte un nombre d'usagers important (une ou des centaines).	Le dommage affecte un nombre d'usagers très important (un ou plusieurs milliers)
Périmètre géographique	Le périmètre géographique concerné est très limité.	Le périmètre géographique concerné est celui d'une commune toute entière.	Le périmètre géographique concerné est d'ordre régional.	Le périmètre géographique concerné dépasse celui d'une région
Représentativité des usagers	Les usagers ou usages affectés sont représentatifs à l'échelle individuelle	Le dommage n'affecte que quelques usages ou usagers représentatifs à l'échelle locale	Le dommage affecte un nombre significatif d'usages ou d'usagers de qualité ou d'importance représentative à l'échelle régionale	Le dommage affecte un nombre important d'usages ou d'usagers de qualité ou d'importance représentative à l'échelle nationale, voire internationale
Mesures palliatives	Aucune mesure palliative n'est nécessaire, pas d'appel à des services extérieurs	Des mesures palliatives sont faciles à mettre en place. Elles peuvent l'être à l'échelle locale	Des mesures palliatives sont difficiles à mettre en place et doivent être recherchées au-delà de l'échelle locale	Aucune mesure palliative n'est possible ou elles mobilisent d'importants moyens à l'échelle nationale, voire internationale.

- **Évaluation globale du niveau de dommages fonctionnels**

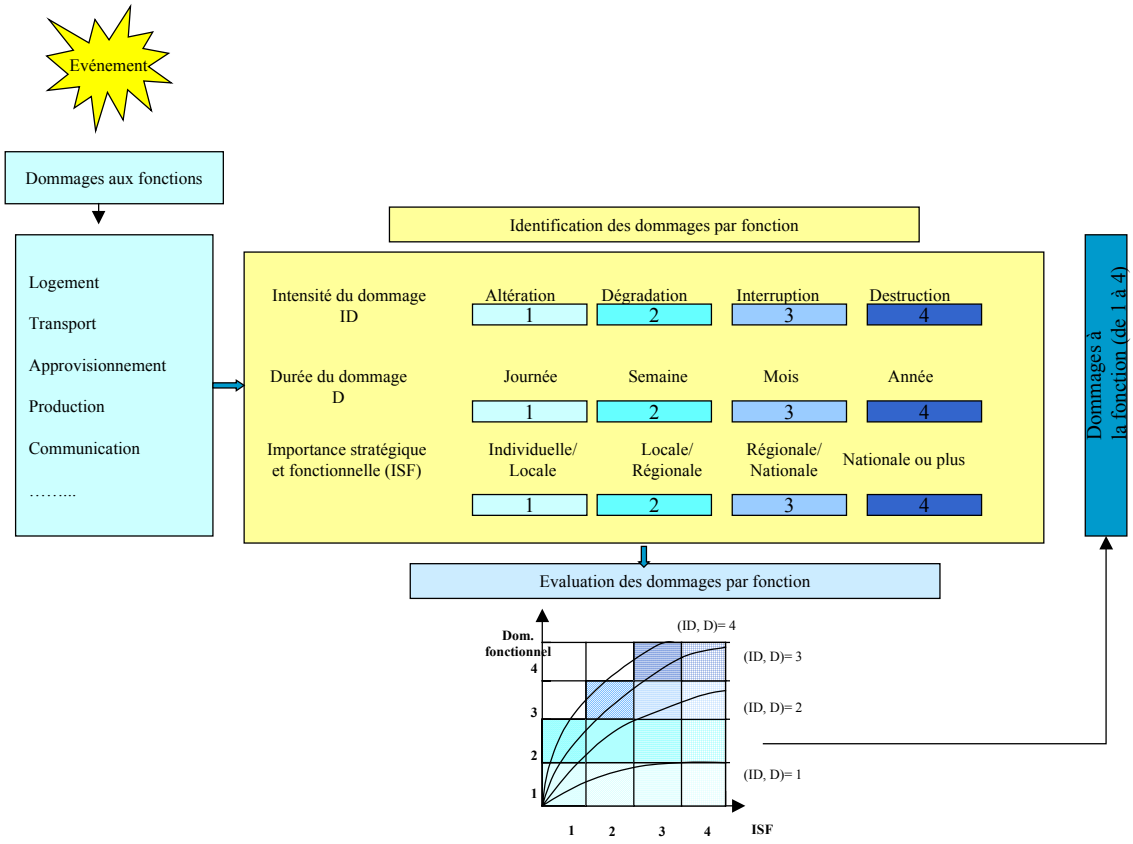
Pour l'évaluation globale, il peut être observé que la valeur de l'ISF constitue un plafond pour la valeur des dommages fonctionnels, tels que le dommage est au plus égal à ISF + 1 : dans le schéma ci-dessous, les dommages fonctionnels pour un ISF de 1 ne peuvent être supérieurs à 2, pour un ISF de 2, ils ne peuvent être supérieurs à 3.

Ceci signifie par exemple, que pour une route qui dessert un hameau ou un village, les dommages ne peuvent pas avoir une importance plus que départementale, quelle que soit la durée ou l'intensité de l'endommagement de la fonction.



Par contre, il n'y a pas de valeur minimale pour les dommages fonctionnels, ceux-ci peuvent prendre une valeur de 1 à 4 selon l'intensité et la durée du dysfonctionnement.

- **Synthèse de la méthodologie d'évaluation des niveaux de dommages fonctionnels**

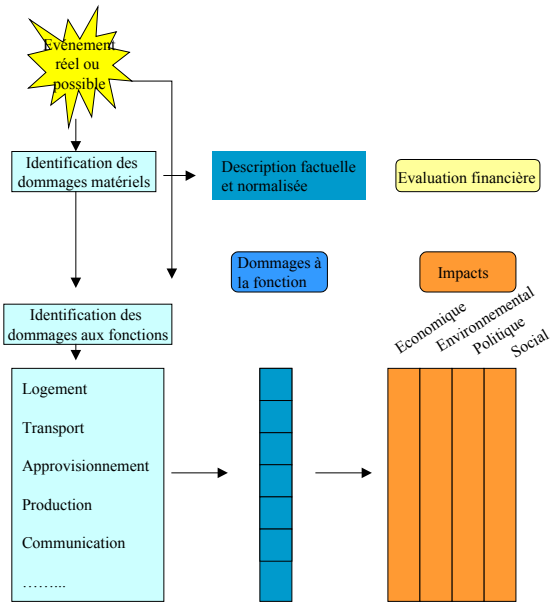


3.2.4. Évaluation des conséquences des dommages

Le schéma ci-dessous rappelle la démarche suivie pour la réalisation de l'échelle de dommages : après avoir identifié les dommages physiques et fonctionnels et avoir caractérisé leur niveau, il apparaît nécessaire d'estimer leurs impacts ce qui représente souvent la difficulté la plus notable pour le gestionnaire du risque et pour la collectivité soumise à un phénomène dangereux.

Pour cela on distinguera :

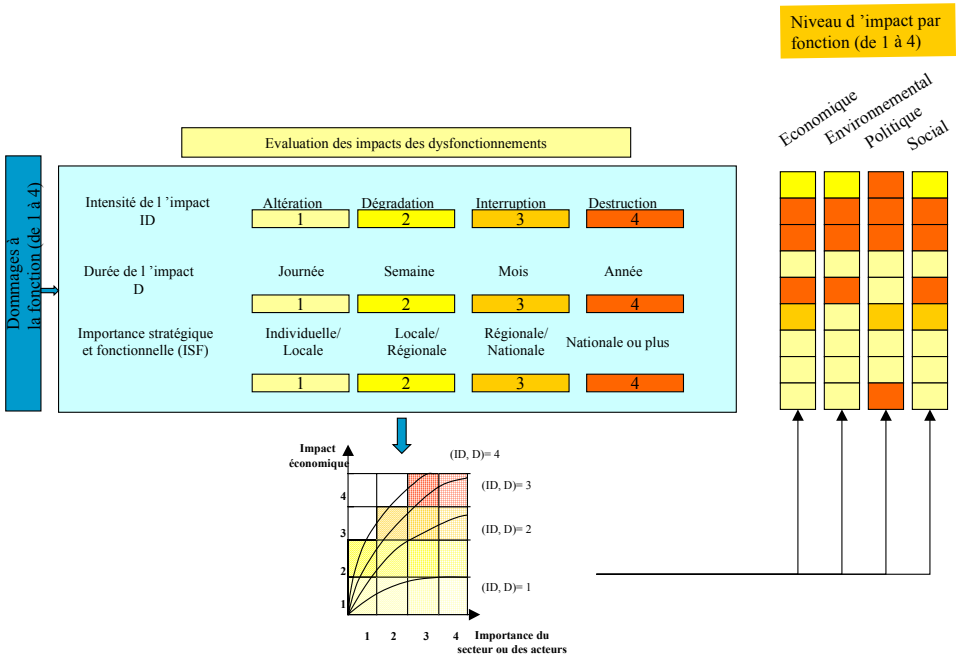
- d'une part, les **conséquences financières des dommages matériels** ce qui est évalué de façon courante à la suite des désordres. Celles-ci sont exprimées en € (ou autre monnaie si nécessaire) ;
- d'autre part les conséquences de ces **dommages dans les domaines de base que sont l'économie, le social et l'environnemental**, auxquels on peut ajouter un certain nombre d'autres domaines comme le politique pris en exemple ici.



L'échelle d'évaluation des impacts économique, social, environnemental et politique résultant des altérations fonctionnelles comprend quatre niveaux selon le concept développé pour évaluer l'importance stratégique d'une fonction.

On dira que les conséquences d'un dommage sont individuelles, locales, régionales, nationales ou internationales, selon que des individus, de petites communautés, des régions, un état ou un ensemble d'états sont susceptibles ou non de faire face à ces conséquences.

Le mode d'évaluation des dommages économiques est présenté ci-dessous à titre d'exemple.



Économie

Comme pour l'évaluation des dommages fonctionnels, l'évaluation des conséquences économiques d'un dommage peut être menée à partir de trois catégories de critères :

- l'importance du secteur ou des acteurs touchés (équivalent de l'importance stratégique pour les fonctions) ;
- l'intensité des conséquences ;
- la durée de ces conséquences.

L'évaluation de l'importance du secteur ou des acteurs économiques touchés et des mesures palliatives prises est évalué à partir de critères tels que : nombre de personnes concernées, périmètre géographique affecté, représentativité des acteurs ou des activités touchés (individuels, locaux, régionaux ou nationaux), nature des mesures palliatives telles que par exemple les possibilités de recours à des financements normaux ou exceptionnels.

Evaluation des conséquences dans le domaine économique	1	2	3	4
Critères d'importance du secteur ou des acteurs	**Individuelle – Locale**	**Locale – Régionale**	**Régionale – Nationale**	**Nationale ou plus**
Nb personnes concernées	Les conséquences n'affectent qu'un ou quelques particuliers.	Les conséquences affectent une dizaine de particuliers ou de petites entreprises	Les conséquences affectent un nombre de particuliers ou de petites entreprises important (une dizaine à une centaine).	Les conséquences affectent un nombre de particuliers ou de petites entreprises très important (une centaine à un ou plusieurs milliers)
Périmètre géographique	Le périmètre géographique concerné est très limité.	Le périmètre géographique concerné est très local	Le périmètre géographique concerné est d'ordre régional.	Le périmètre géographique concerné dépasse celui d'une région
Représentativité des usagers	Les acteurs économiques affectés sont représentatifs à l'échelle individuelle	Les conséquences affectent des acteurs économiques représentatifs à l'échelle locale	Les conséquences affectent des acteurs économiques représentatifs à l'échelle régionale	Les conséquences affectent des acteurs économiques représentatifs à l'échelle nationale, voire internationale.
Mesures palliatives	Aucun recours financier ou économique particulier n'est nécessaire	Des recours financiers et économiques ordinaires sont mis en place : prêts bancaires, assurances	Des recours financiers et économiques extraordinaires sont mis en place : prêts exceptionnels, reports d'impôts….	Les recours financiers et économiques sont très difficiles à trouver, ils nécessitent une mobilisation nationale ou internationale

Tabl. 30 - Évaluation de l'importance du secteur ou des acteurs économiques touchés et des mesures palliatives prises.

L'intensité des impacts sur l'activité économique des acteurs est décrite selon les mêmes concepts que ceux utilisés pour évaluer l'intensité des dommages aux fonctions :

Evaluation des conséquences Dans le domaine économique	1	2	3	4
Critères d'intensité de l'impact	**Altération** L'activité économique des acteurs affectés est maintenue mais dans des conditions dégradées ou qui exigent la mobilisation de moyens supplémentaires minimes	**Dégradation** L'activité économique des acteurs affectés n'est assurée que partiellement	**Interruption** Le développement de l'activité économique des acteurs affectés est compromis	**Destruction** L'activité économique des acteurs affectés est susceptible de disparaitre

Tabl. 31 - Évaluation des conséquences des dommages économiques sur les acteurs.

Enfin, la durée des impacts économiques est considérée selon l'échelle de temps proposée ci-dessous :

Evaluation des conséquences Dans le domaine économique	1	2	3	4
Critères de durée	De l'ordre du **mois**	De l'ordre du **semestre**	De l'ordre de **l'année**	De l'ordre de plus d'une **année**

Comme pour l'évaluation des dommages fonctionnels, les conséquences économiques ne peuvent être très supérieures à l'ISF des acteurs ou de l'activité touchée (ISF + 1 au maximum). C'est-à-dire qu'un impact économique ne peut être que local ou régional (1 ou 2) si les acteurs ou l'activité affectés ont une représentativité locale (1). Ceci est vrai, quelle que soit l'intensité ou la durée de l'impact.

Faute de données suffisantes, permettant la réalisation d'une grille pertinente, il n'est pas présenté de grille de synthèse. La méthode développée prévoit que les gestionnaires du risque en charge de l'évaluation des conséquences d'un dommage évaluent eux-mêmes, à partir des grilles ci-dessus les conséquences économiques de celui-ci.

3.3. UTILISATION, CONDITIONS ET LIMITES

3.3.1. Mode d'utilisation

À partir de la méthode présentée ci-dessus, une grille permettant d'évaluer les dommages a été réalisée, elle est présentée ci-dessous.

Elle reprend de façon synthétique les différentes évaluations détaillées précédemment avec différents « blocs » pouvant être renseignés selon les situations, les données disponibles et les objectifs d'utilisation.

Dommages		Description factuelle et normalisée	Eval dommages fonctionnels	Impact Financier	Impact Économique	Impact Social	Impact politique	Impact Environnementale
Physiques	Personnes	Texte : nb personnes, affectées de niveau 1 à 4		€				
	Biens	Texte : nb et types de biens affectés, indication du niveau d'endommagement de 1 à 4 pour chaque type de bien		€	Représenté dans les dommages aux fonctions			
	Ressources	Texte : nature et quantité de milieux affectés, indication du niveau d'endommagement de 1 à 4 pour chaque milieu		€				
Fonctionnels	Logement	Texte : description du niveau de dommage fonctionnel (ID), de la durée de ce dommage (D), de l'importance stratégique de la fonction (ISF)	1 à 4	Pas d'évaluation financière, remplacée par les différentes mesures d'impacts		1 à 4	1 à 4	1 à 4
	Transport							
	Approvisionnement							
	Gestion des déchets							
	Production							
	Communication							
	Éducation	-						
	Gouvernance							
	Culture/Sport/Loisir	-						
	Sécurité publique	-						
	Santé	-						
	Culte	-						

Tabl. 32 - Grille d'évaluation de dommages et d'évaluation de leurs conséquences.

a) Description et évaluation des dommages (zones bleu clair et bleu foncé)

Les dommages physiques et fonctionnels sont distingués. Pour chacun d'entre eux, il est prévu une description factuelle. Pour les dommages physiques et fonctionnels, cette description est accompagnée du niveau typologique des dommages.

Par exemple, pour les personnes, on décrira *x* personnes blessées ou choquées, dans l'incapacité de travailler avant trois mois et ayant dû être hospitalisées, soit de niveau 3 et *y* personnes décédées soit de niveau 4.

Pour les fonctions, la colonne évaluation des dommages est remplie par des valeurs de 1 à 4, exprimant l'importance fonctionnelle de la fonction (ISF), le niveau de l'endommagement (ID) et sa durée (D), selon la grille présentée plus haut.

b) Évaluation financière (zone jaune)

L'évaluation financière des dommages physiques doit être associée si possible à leur description. L'évaluation financière devant permettre la comparaison de différents événements entre eux, il est souhaitable qu'elle soit réalisée sur des bases servant couramment de référence.

Les évaluations financières de dommages reposent généralement sur les dommages dont la réparation est susceptible d'être financée. Il s'agit des biens assurés, pour les particuliers, les entreprises et les agriculteurs, et des biens pour lesquels il est possible d'obtenir un financement pour l'Etat et les collectivités.

On peut observer à travers cette description que les évaluations financières de dommages reposent à la fois sur l'estimation des dommages et sur leur remboursement. Il est en effet généralement nécessaire de recouper plusieurs sources, les unes concernant les dommages, les autres les financements, pour évaluer le montant global d'un sinistre. Ceci entraîne de très fortes incertitudes sur l'évaluation.

S'agissant de dommages dus aux ouvrages souterrains, il est possible de proposer une évaluation financière sur la base du coût de réparation des biens endommagés, cette réparation ou, le cas échéant, le remplacement, se faisant à l'identique du bien détruit, comme cela est spécifié dans le Code minier pour les dommages dus aux mines.

c) Évaluation économique, sociale, environnementale et politique

L'évaluation des impacts sociaux et environnementaux est réalisée pour les dommages aux personnes et aux milieux.

Ceci signifie par exemple que la blessure ou la disparition de personnes ont un impact social, indépendamment des fonctions que ces personnes exercent.

De même, l'endommagement de ressources naturelles a un impact environnemental, indépendamment de la fonction de ces ressources.

Ces évaluations ne portent pas sur les dommages aux biens, car ce sont les fonctions dont ils sont le support qui ont une valeur économique, sociale, environnementale ou politique.

Par ailleurs, les impacts économiques, sociaux, environnementaux et politiques sont évalués pour tous les dommages aux fonctions.

L'évaluation des impacts, notée de 1 à 4 est effectuée sur les bases décrites plus haut : pour chaque fonction, on évalue l'impact de son endommagement en fonction de son importance stratégique dans le système étudié (économique, social, etc.), de l'importance de cet impact (ID) et de sa durée.

3.3.2. Conditions d'utilisation

a) Un groupe d'acteurs chargés de la gestion du risque

L'évaluation des dommages physiques et fonctionnels selon les échelles typologiques nécessite une bonne connaissance de l'événement et de ses conséquences.

L'évaluation des impacts économiques, sociaux et politiques demande une bonne connaissance du contexte.

C'est parce qu'il faut associer plusieurs points de vue pour évaluer un événement et les dommages qu'il entraîne, qu'il est préférable que la grille d'évaluation soit remplie par un groupe d'acteurs en charge des différents aspects de la gestion de l'événement.

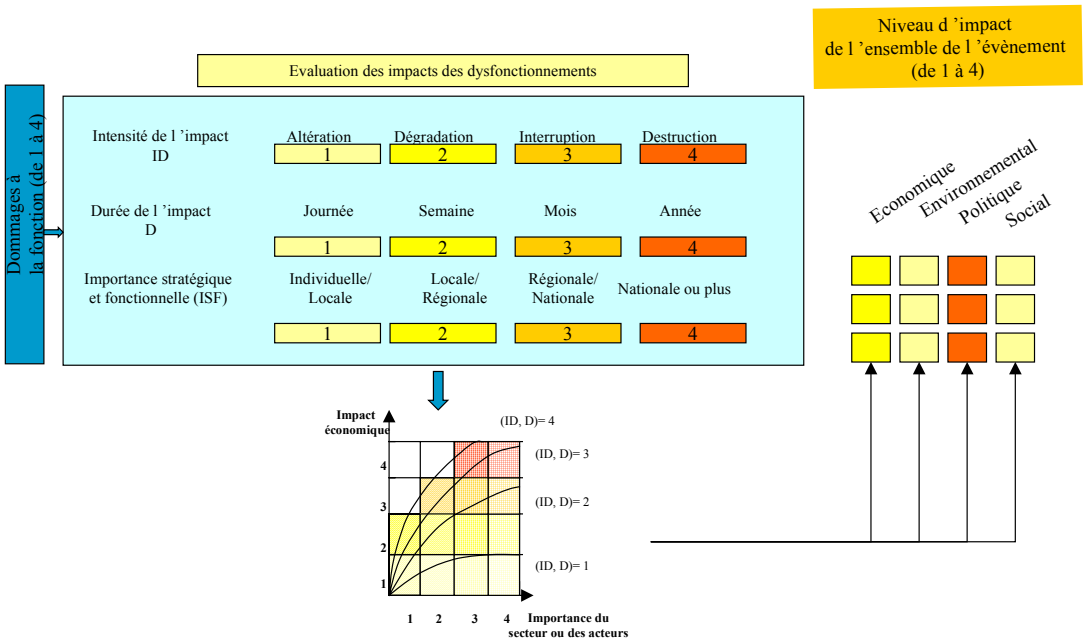
b) Une approche détaillée ou synthétique

La grille présentée ci-dessus peut permettre une évaluation rigoureuse et détaillée de tous les dommages, ce qui nécessite bien entendu de disposer d'éléments précis. À partir de ces éléments détaillés une approche plus synthétique est bien entendu possible comme cela est présenté au paragraphe ci-après.

c) Une évaluation rapide

Dans certains cas, l'estimation des conséquences sociales, économiques et politiques de toutes les fonctions n'est pas utile si l'on cherche à réaliser une évaluation rapide ou sommaire, comme cela est présenté dans le schéma page suivante.

En ce cas, seuls les principaux impacts des principales fonctions sont à considérer. Leur analyse doit permettre d'identifier les dommages les plus importants et leurs conséquences, non seulement au moment de l'évaluation, mais aussi par anticipation. L'analyse des impacts économiques sociaux ou politiques observés ou imaginables met en effet en évidence la vulnérabilité des systèmes étudiés et peut permettre, par une bonne gestion de l'événement, d'y pallier, au moins pour partie.

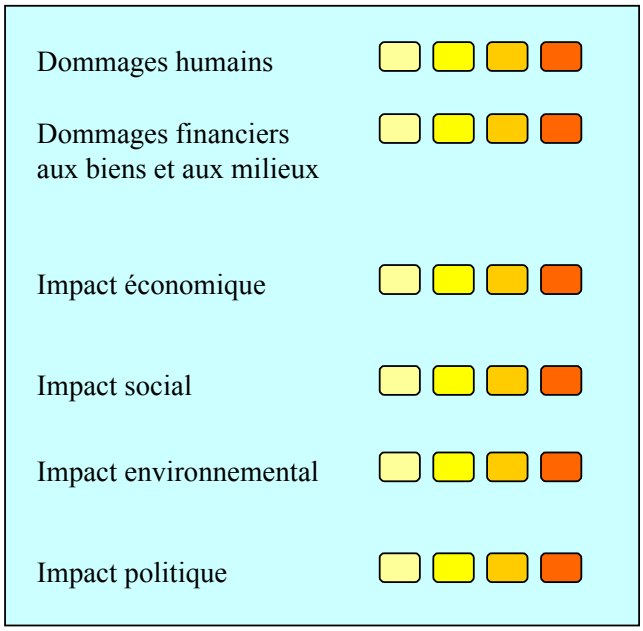


d) Un outil de comparaison

L'utilisation d'une échelle permet de comparer plusieurs dommages dus à différents événements. Cette comparaison n'est facile qu'en utilisant des notes de synthèse dans l'échelle, c'est-à-dire en ne retenant que quelques valeurs significatives. Ce sont :

- les dommages aux personnes ;
- les coûts financiers ;
- les impacts économiques, sociaux, environnementaux et politiques.

L'échelle peut alors être présentée de cette façon :



Dans ce schéma de synthèse, les dommages humains sont notés de 1 à 4 ainsi que les dommages financiers.

Cette notation globale fait appel à l'échelle de dommages du MEDD, qui note de 0 à 5 ces dommages, comme cela est rappelé dans le tableau ci-dessous :

Niveau	**Qualificatif**	**Dommages humains**	**Dommages matériels**
0	Incident	Aucun blessé	<0,3 M€
1	Accident	1 ou plusieurs blessés	entre 0,3 et 3 M€
2	Accident grave	1 à 9 morts	entre 3 et 30 M€
3	Accident très grave	10 à 99 morts	entre 30 et 300 M€
4	Catastrophe	100 à 999 morts	entre 300 M€ et 3 G€
5	Catastrophe majeure	1000 morts ou plus	plus de 3 G€

Dans la mesure où l'échelle développée dans ce travail concerne les dommages dus aux cavités souterraines, les niveaux 4 et 5 de l'échelle du MEDD ne sont pas significatifs, ils peuvent être agrégés avec le niveau 3.

Il est donc proposé, pour réaliser la fiche d'évaluation synthétique de dommages dus à des cavités d'utiliser l'échelle du MEDD pour les dommages humains et financiers selon la correspondance suivante :

Echelle cavités souterraines	Échelle MEDD
Niveau 1	Niveau 0
Niveau 2	Niveau 1
Niveau 3	Niveau 2
Niveau 4	Niveaux 3, 4 et 5

3.3.3. Limites d'utilisation

Cette échelle est le résultat d'un travail de recherche méthodologique, appliqué à quelques cas concrets, mais en nombre trop faible pour que l'on puisse la déclarer parfaitement opérationnelle.

En première analyse, quelques observations peuvent être faites

a) Les systèmes d'évaluation

Les trois systèmes d'évaluation, l'économie, le social, l'environnement, qui sont les critères du développement durable, sont complétés par l'évaluation de l'impact politique. Ces évaluations sont peut être insuffisantes.

Par exemple, l'évaluation des conséquences médiatiques ne peut être ignorée. L'importance d'un événement est en effet souvent mesurée à son retentissement dans les médias.

Selon les évaluations que l'on cherchera à faire et les acteurs pour lesquels elles seront réalisées, deux méthodologies pourront être retenues : soit on pourra considérer les effets médiatiques comme des impacts, auquel cas ils seront traités comme les évaluations économiques ou sociales, soit ils seront traités comme des indicateurs ou

des composants des impacts économiques, sociaux, politiques ou environnementaux au même titre que des dommages physiques ou fonctionnels.

b) Les moyens d'évaluer l'évolution des dommages

L'évaluation des dommages fonctionnels et de leurs conséquences sur le plan économique, social et politique, permet d'analyser la vulnérabilité du territoire et des acteurs concernés et d'évaluer quelle peut être l'évolution de l'événement.

L'analyse de nombreux retours d'expérience devrait permettre de constituer des profils types, qui, associés à des contextes (vulnérabilité) économiques, sociaux ou politiques, caractéristiques, permettraient d'identifier ou non, des risques d'aggravation de la situation.

La réalisation de tels profils implique l'analyse de nombreux cas, ce qui n'a pu être réalisé dans le cadre de cette étude.

3.4. « CAS D'ÉTUDE »

Les cas retenus pour la mise en place de l'échelle ont été sélectionnés sur les critères suivants :

- types de mouvements de terrain différents : affaissements et fontis ;
- appartenance à des régimes juridiques distincts : régime catastrophe naturelle ou relevant du Code minier ;
- dommages corporels graves, dommages immobiliers ;
- contexte sensibilisé ou non à la présence de cavités, existence notoire de cavités susceptibles de s'effondrer après l'événement étudié ;
- situation économique et sociale des sinistrés.

L'objet de l'analyse de ces cas est la recherche des éléments caractéristiques en vue de leur transcription dans une grille d'analyse elle-même utilisable pour définir le niveau de dommage à partir de l'échelle proposée.

Le travail sur les cas a été effectué à partir d'analyses bibliographiques et de rencontres sur le terrain avec les acteurs responsables de la gestion de l'événement au moment où celui-ci s'est produit.

S'agissant d'événements déjà relativement anciens, leur mémoire s'est un peu estompée et les souvenirs traduisent probablement une situation moins aiguë qu'elle n'a pu l'être sur le moment.

Les entretiens ont été menés sur le terrain à l'aide d'un questionnaire présenté en annexe 3.

La fiche de synthèse des évènements étudiés est présentée ci-dessous. Chaque cas est ensuite détaillé et évalué à l'aide de la grille développée dans l'étude méthodologique.

Lieu	Régime juridique	Date	Événement	Étendue (m^2)	Dommages		Coût (K€)
					Physiques	Fonctionnels	
St-Émilion	Carrière de calcaire abandonnée	1997	Effondrement	900	Destruction de 900 m^2 d'un terrain viticole	Perte de production de vin	650[1]
Chanaz	Carrière de calcaire abandonnée	1996	Effondrement	3 000	3 maisons fissurées Destruction 100m d'une RD Destruction 100 m d'une RC Destruction de canalisations et d'un transformateur EDF	Interruption de la fonction habitat Perte de la valeur des maisons Perte de production Interruption du transport et de l'approvisionnement	330[2]
L'Hautil	Carrière de gypse abandonnée	1991	Fontis	706,5	Une personne morte Un jardin effondré	Une maison est devenue inhabitable	417[3]
Auboué et Moutiers	Mine de fer abandonnée	1996	Affaissement	-	Des centaines de bâtis endommagés Plusieurs dizaines de bâtis démolis en raison de leur niveau de dégradation	Interruption de la fonction habitat Perte de production Interruption du transport et de l'approvisionnement.	35 000[4]

1 Coût estimé couvrant la répartition (300 k€ estimé par ANTEA), la valeur foncière du terrain (150 k€) et la perte économique sur 5 ans (200 k€ d'après le propriétaire).
2 Coût de la réhabilitation de la route départementale et de la route communale (source DDE Savoie).
3 Valeur foncière du pavillon estimée à 381 k€ et 36 k€ le coût de relogement temporaire pendant 2 ans (le maire).
4 D'après Malgorn, 1998.

3.4.1. Chanaz

Chanaz est une commune de 675 ha dont la population compte environ 500 habitants. L'économie de la commune est fondée essentiellement sur le tourisme pendant la saison d'été, où quelques 150 000 visiteurs assurent la continuité de cette activité. Selon le maire, Chanaz est la commune la plus visitée de Savoie (elle se situe à l'extrêmité nord du lac du Bourget).

a) Rappel des faits

Le dimanche 21 juillet 1996, vers 6 h 20, un effondrement de terrain s'est produit à l'aplomb d'une carrière de calcaire marneux, presque totalement oubliée et dont l'exploitation est arrêtée depuis 40 ans, au lieu dit « Lacour » dans la partie sud-est du chef-lieu.

Deux fontis se sont créés, l'un au nord de la RD 210 dans la propriété Dufour, l'autre au sud sur un chemin communal, devant la maison Favre, ainsi qu'un affaissement de la RD sur 30 m de longueur et 3 m de dénivelée. Sur le bord est de l'effondrement, la propriété Hévang (chemin d'accès) a également été touchée.

Une cellule de crise a été mise en place et dirigée par Mme la directrice du Cabinet du Préfet en présence de Monsieur le Maire de Chanaz, de la Protection civile, des pompiers, de la gendarmerie, de la DDE, du BRGM.

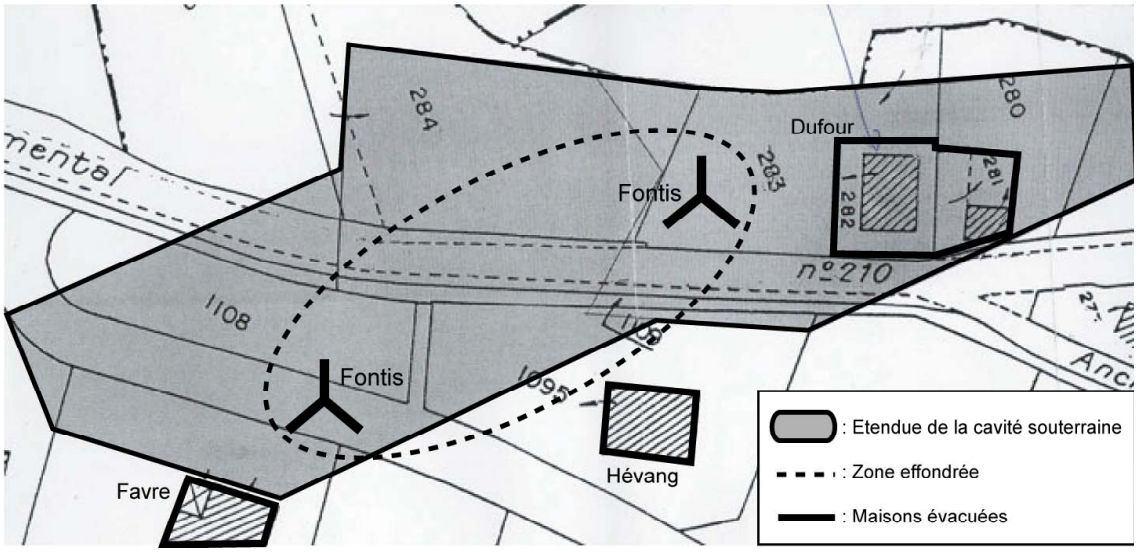


Fig. 32 - Étendue de la cavité et celle des maisons au-dessus (source : DDE Savoie).

b) Origine des désordres

La zone affectée correspond à une partie d'ancienne carrière (matériaux pour cimenterie) qui s'étend sur 80-90 m de long, 25 m de large, soit 2-3 000 m^2 environ (4 000 m^2 selon ANTEA). Un schéma fourni par la DRIRE permet de constater que l'exploitation se faisait par 3 niveaux de galeries superposées dont les planchers se situent respectivement à -20 m pour le niveau supérieur -25 m à -39 m pour le niveau 2 et -33 à -46 m pour le niveau 3. Le dénivelé entre chaque plancher était de 7-8 m et des piliers de 3 x 3 m de diamètre servaient à maintenir les étages supérieurs.

c) Travaux réalisés (ANTEA, 1996)

Face à l'urgence des travaux de surveillance, de reconnaissance et de confortement que suscitait l'apparition des désordres, la commune de Chanaz et la DDE de Savoie ont confié à ANTEA-Lyon une étude géotechnique dès le 23 juillet 1996 après la période de première urgence. Cette étude a permis de préciser l'origine probable des désordres, les menaces d'instabilité résiduelles et les mesures à engager pour le renforcement et la surveillance du site. Ceci a permis d'avoir une bonne connaissance du site grâce aux moyens mis en œuvre prospection micro-gravimétrique :

- campagne de sondages destructifs, à la pelle et carottés ;
- inspection en souterrain des galeries visitables ;
- levé topographique des anciennes carrières ;
- essais de résistance des roches en site et en laboratoire ;
- mise en place d'une instrumentation sommaire.

Les galeries prospectées se situent sous une maison, traversent la RD210 et la voie communale, mais restent en aval de la maison Favre.

L'origine de la rupture de quelques piliers est appréhendée, on notera l'existence de piliers altérés et peu résistants, la superposition de piliers parfois insuffisante et les effets possibles du séisme d'Annecy qui s'était produit quelques heures auparavant.

La restauration des terrains effondrés a exigé des travaux de renforcement qui se répartissent comme suit :

- les travaux d'urgence : pour assurer la stabilité des constructions situées à proximité du fontis, il a été décidé de procéder au remblaiement de la zone concernée. Ces travaux ont débuté le 25 juillet, après la réalisation des mesures micro-gravimétriques du secteur du lotissement ;
- le rétablissement de la route départementale (152 k€ soit 1 000 000 F), de la route communale (183 k€ soit 1 200 000 F) et des réseaux souterrains (conduites en béton, EDF/PTT, eau potable) établi sur la base de la connaissance du sous-sol ;
- le renforcement des parties souterraines accessibles à un coût estimé à 1 496 € (9 798,75 F) par mètre linéaire de galerie ;
- sondages, reconnaissances complémentaires, instrumentation : un système de surveillance a été mis en œuvre permettant la vérification de la stabilité du sous-sol au droit des habitations. La fréquence des mesures préconisées est d'une mesure par trimestre. Le coût de ce dispositif s'élève à 6 365 € (48 280 F) pour le matériel installé et à 6 365 € (48 280 F) par an pour les mesures effectuées.

Les travaux de consolidation des vides sous la maison Dufour ont été pris en charge par le propriétaire de la maison.

d) Les dommages observés

Les dommages matériels :

- effondrement d'une route communale et d'une route départementale sur 100 m ;
- rupture des canalisations en eau potable et usée ;
- rupture du réseau électrique et téléphonique ;
- légères fissurations dans 3 maisons.

Les dommages aux fonctions :

- 8 personnes déplacées pendant 10 jours chez des parents par précaution jusqu'à la fin des travaux de stabilisation du sous-sol ;
- un accès à la commune est coupé. Pendant 6 mois, certains véhicules lourds ont été contraints à faire un détour de 10 km et les habitants de la commune ont dû emprunter un accès aménagé sur 1 km environ ;
- 12 familles privées d'accès en voiture à leur maison pendant 2 jours. Cet accès a été perturbé pendant 1 an ;
- interruption d'approvisionnement en eau : 150 usagers privés d'eau à cause de la rupture des canalisations et la vidange de 2 réservoirs d'eau pendant 2 jours ;
- interruption de la canalisation des eaux usées pendant 2 j, une source de gêne pour les 12 familles en raison des odeurs dégagées ;

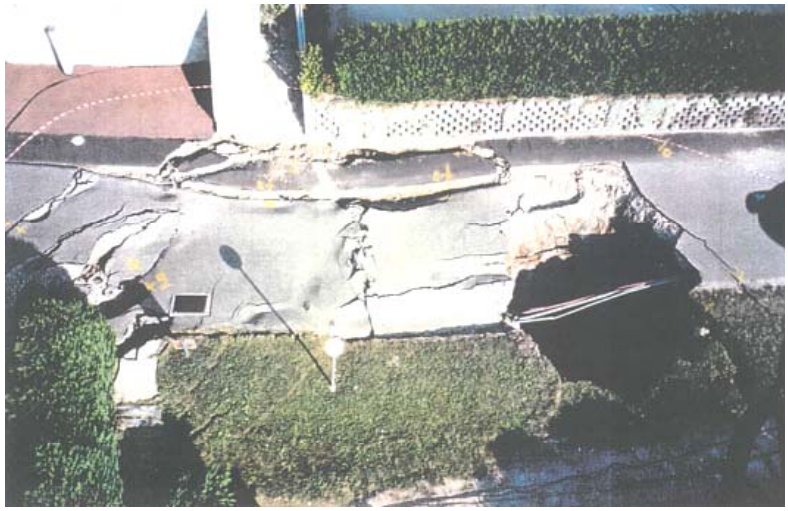


Fig. 33 - L'effondrement de la route communale (source : BRGM).

Fig. 34 - Effondrement de la route départementale (source : BRGM).

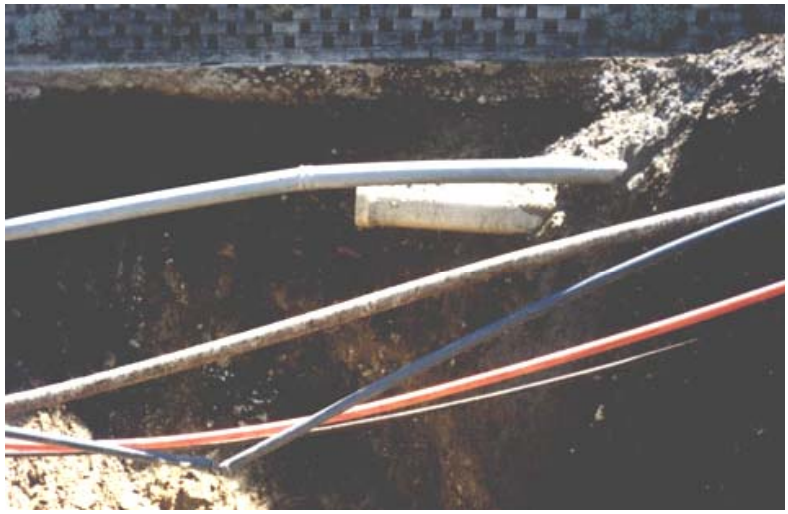


Fig. 35 - Les dommages aux réseaux enterrés (source : BRGM).

- perturbation légère de l'activité commerciale d'un restaurant durant quelques semaines ;
- 150 habitants privés de lignes téléphoniques pendant 2 jours à cause de la rupture d'un câble France-Telecom.

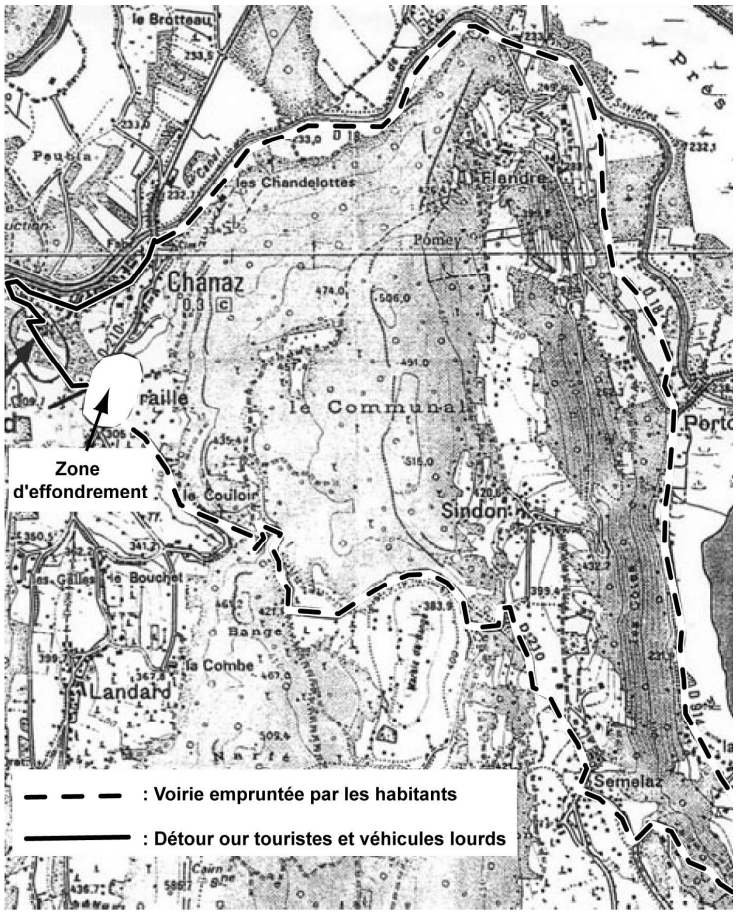


Fig. 36 - Les routes empruntées pour contourner la RD effondrée (source : BRGM).

L'événement a eu lieu en saison touristique.

La carrière était presque oubliée par les habitants, aucun plan n'a pu être retrouvé dans l'urgence pour une exploitation qui a eu lieu entre 1921 et 1927.

Les cavités concernées n'étaient pas prises en compte dans le POS. Elles n'avaient encore jamais donné de signe d'instabilité.

Les cavités anthropiques sont relativement peu nombreuses dans cette zone et la population n'est pas familière de ce type d'évènement et de dommage.

L'événement, est survenu après le séisme d'Annecy et la presse a présenté l'effondrement comme une conséquence possible du séisme.

Dans le village, l'événement a touché les personnes concernées ainsi que le maire. L'ensemble du village a été peu concerné par l'événement.

Dommages		Description factuelle et normalisée	Eval dommages fonctionnels	Impact Financier	Impact Économique	Impact Social	Impact politique	Impact Environnemental
Physiques	Personnes	-		€		-		
	Biens	Effondrement d'une RC et d'une RD sur 100 m (T4) Rupture des canalisations en eau potable et usée (T4) Cable d'alimentation électrique du quartier rompu (T4) Cable téléphonique desservant le quartier rompu (T4) 3 maisons fissurées (T1)		330 k€	Représenté dans les dommages aux fonctions			
	Ressources	Perte d'accès à un quartier de la carrière (abandonnée) (T2 : nécessité d'une action pour rétablir l'accès si réouverture envisagée)		€				1
Fonctionnels	Logement	8 personnes déplacées pendant 10 jours chez des parents jusqu'à la fin des travaux de stabilisation du sous-sol. (ID : 3-plusieurs personnes déplacées ; D : 2-10 jours ; IFS : 1-relogement personnel, par pris en charge par la commune)	2	Pas d'évaluation financière, remplacée par les différentes mesures d'impacts	1	1	1	-
	Transport	Un accès à la commune (RD) est coupé (ID : 3). Pendant 6 mois (D : 3), certains véhicules lourds ont été contraints à faire un détour de 10 km (pour atteindre la commune) (ISF : 1-2) et les habitants de la commune ont dû emprunter un accès aménagé sur 1 km environ. 12 foyers (ISF : 1-2) privés d'accès (RC) (ID : 3) en voiture à leur maison pendant 2 jours (D : 1). Cet accès a été perturbé (ID : 1) pendant 1 an (D : 4)	2		2	2	0	0
	Approvisionnement	Interruption (ID : 3) de l'approvisionnement en eau : 150 usagers privés d'eau (ISF : 2) à cause de la rupture des canalisations et de la vidange de 2 réservoirs d'eau pendant 2 jours (D : 1). 12 foyers (ISF : 1-2) sans électricité pendant 1 jour (D : 1).	2		1	2	0	0
	Gestion des déchets	Rupture (ID : 3) de la canalisation des eaux usées pendant 2 j (D : 1), une source de gêne pour les 12 familles (ISF : 1-2) en raison des odeurs dégagées.	1		1	2	0	1
	Production	Perturbation légère (ID : 1) de l'activité commerciale d'un restaurant (ISF : 1-2) durant quelques semaines (D : 2)	1		1	1-2	0	0
	Communication	12 foyers privés (ID : 3) de lignes téléphoniques (ISF : 1-2) pendant 2 jours (D : 1) à cause de la rupture d'un câble France-Telecom.	1		1	1-2	0	0
	Éducation	-						
	Gouvernance	Une enquête administrative a été engagée à la demande du Préfet pour s'assurer que les procédures administratives et réglementaires avaient bien été respectées au moment de la délivrance des permis de construire. Durée : plusieurs semaines. (ID : 1 ; ISF : 2 ; D : 3)	1		0	0	1-2	0
	Culture/Sport/Loisir	-						
	Sécurité publique	Absence de communication, difficulté d'accès -> réduction de la couverture sécurité	1		-	1	-	-
	Santé	-						
	Culte	-						

Tabl. 33 - Grille d'évaluation des dommages de Chanaz.

Une enquête administrative a été engagée à la demande du Préfet pour s'assurer que les procédures administratives et réglementaires avaient bien été respectées au moment de la délivrance des permis de construire.

Malgré l'absence de plans, il n'y a pas eu de doutes importants sur l'emprise des cavités.

Il n'y a pas eu non plus d'inquiétude forte sur les possibilités d'indemnisation du sinistre.

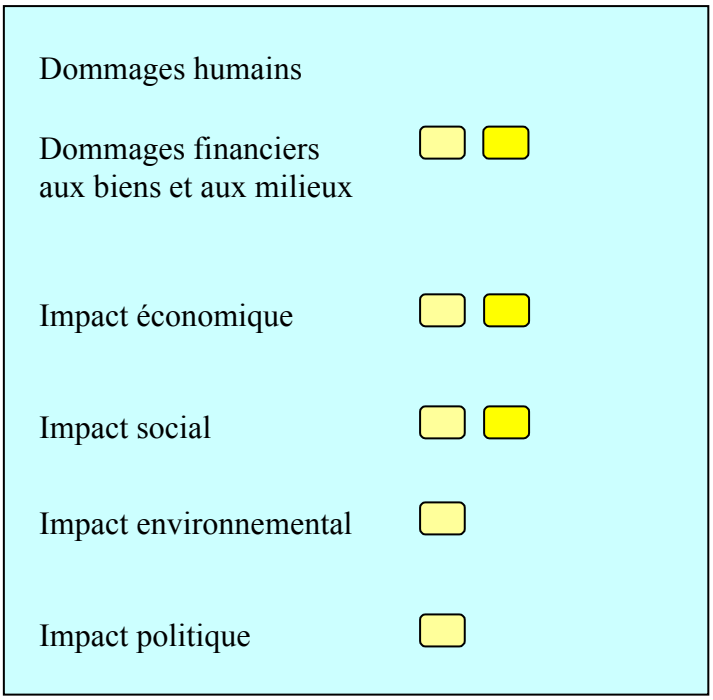


Fig. 37 - Évaluation simplifiée des dommages.

3.4.2. Chanteloup-les-Vignes

Chanteloup-les-Vignes est une commune située sur le massif de l'Hautil dans les Yvelines, en région parisienne, de 372 ha dont la population compte environ 9 750 habitants. Cette commune est une ville de banlieue dont les ressources sont faibles. La délinquance des jeunes est un des soucis majeurs des habitants.

a) Rappel des faits

Le massif de l'Hautil comporte un soubassement gypseux ayant fait l'objet, entre le début du XIX^{e} siècle et 1979, d'une exploitation intensive pour la fabrication du plâtre. C'est ainsi que 650 hectares de terrains (fig. 38), dont 350 ha quasiment inaccessibles, ont été sous-minés et peuvent être le siège de mouvements du sol de type affaissement-effondrement.

Un accident mortel est survenu à Chanteloup-les-Vignes le 11 mars 1991 à 22 h résultant de l'effondrement d'une partie de carrière souterraine de gypse abandonnée. Ce phénomène a conduit Monsieur le Préfet des Yvelines et le Ministère de l'Environnement (Délégation aux Risques Majeurs) à faire examiner par un groupe de travail la faisabilité d'un PER pour l'ensemble des carrières de gypse du massif de l'Hautil (Thorin, 1992). De tels événements sont fréquents dans la région. Jusqu'en 2000 on a repéré, grâce à l'observation des photos aériennes prises à plusieurs dates, 157 fontis avec une fréquence d'apparition évaluée de 3 à 11 par km^2 et par an (CFGI, 2000). En 1995, le PER a été remplacé par un PPR (plan de prévention des risques). L'élaboration du PPR a été appliquée sur dix communes de la butte de l'Hautil

concernées par les carrières de gypse dont Chanteloup-les-Vignes. Depuis, la totalité de la forêt de l'Hautil est interdite au public (préfecture des Yvelines). En ce qui concerne les zones urbanisées limitrophes des zones à risque, plusieurs arrêtés de péril ont été pris par les maires qui ont procédé à l'expropriation de 47 propriétés menacées d'effondrement (rapport du sénateur Revet Charles, de la Commission des affaires économiques) pour un coût total de 2,68 M€.

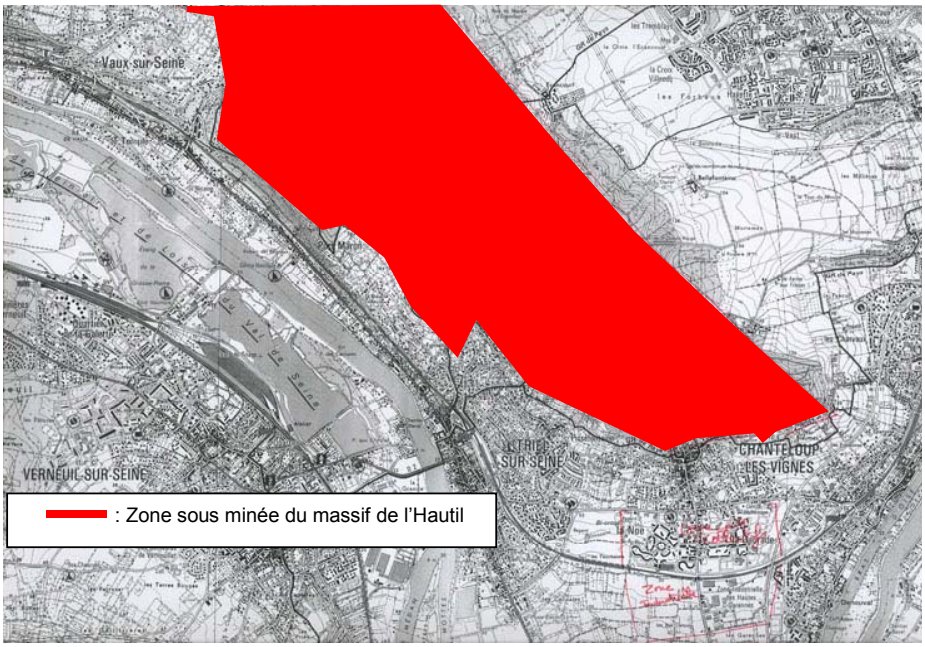


Fig. 38 - Étendue de la zone sous minée au massif de l'Hautil et les communes avoisinantes (source : IGC Versailles).

Fig. 39 - Une vue sur le fontis révélant l'importance de son cratère (source : IGC Versailles).

Lors de l'événement, une cellule de crise a été mise en place et présidée par le maire en la présence de l'IGC (Inspection Générale des Carrières), la DRIRE, la DDE, la DDSC, le SAMU ainsi que des experts pour gérer et coordonner les interventions et mobiliser les moyens nécessaires dans l'urgence.

Cet événement a suscité aussi la mise en place d'un Plan de secours et d'intervention spécialisé. En effet, la priorité des secours a été donnée à la recherche du jeune homme dont le corps n'a pas été retrouvé malgré les efforts importants déployés durant plus de 3 jours (groupe d'intervention en milieux périlleux avec chiens, moyens de levage lourds, puisatiers, …) car les pompiers se sont sentis « désarmés » face [Sénat, 1999] :

- à un phénomène qu'ils ne connaissaient pas et pour lequel ils ne disposaient que d'une information très floue ;
- à un dialogue peu fiable « à chaud » avec les spécialistes faute de contacts préalables ;
- aux risques élevés qu'ont courus les secouristes en opérant au fond du trou, et en surface, en déployant leurs moyens lourds de levage avant de s'assurer de la stabilité du site (fig. 39).

b) Origine des désordres

La nuit du 11 mars 1991, un fontis de 30 m de diamètre et 20 m de profondeur (9 000 m^3), résultant de la ruine d'un quartier de carrière souterraine, apparaissait en deux phases sur une durée totale d'environ 6 h, dans une cour de maison où se trouvaient plusieurs véhicules (des caravanes et un camion). La carrière était une exploitation par piliers abandonnés dont le taux de défruitement (rapport de la surface exploitée sur la surface totale) important variait entre 65 et 85 % dans les anciens travaux (avant 1900) et s'élevait à environ 75 % dans les plus récents.

c) Les dommages observés

Les dommages matériels :

- une personne a été ensevelie dans le fontis. Son corps n'a pu être exhumé ;
- plusieurs véhicules ont également été ensevelis.

Les dommages aux fonctions :

- évacuation définitive du propriétaire du terrain car sa maison, dont la valeur est estimée à 381 k€, située à quelques dizaines de mètres du trou a été considérée comme inhabitable. Quatre personnes ont dû se reloger à leurs propres frais ;
- déplacement pendant 2 ans de 6 personnes dans une HLM, ce relogement temporaire a coûté à la commune la somme de 36 k€.

Dommages		Description factuelle et normalisée	Eval dommages fonctionnels	Impact Financier	Impact Économique	Impact Social	Impact politique	Impact Environnemental
Physiques	Personnes	1 personne morte (T4)		€	3			
	Biens	Effondrement d'un jardin (3000 m2) à proximité d'une maison (T4)		417 k€	Représenté dans les dommages aux fonctions			
	Ressources	Plusieurs véhicules détruits (T4)		€				1
Fonctionnels	Logement	-		Pas d'évaluation financière, remplacée par les différentes mesures d'impacts				
		Évacuation définitive (ID :4) du propriétaire (ISF :1) du jardin et de sa maison, pour être relogé ailleurs (D :1)	1		1	1	2	-
	Transport							
	Approvisionnement							
	Gestion des déchets							
	Production							
	Communication							
	Éducation							
	Gouvernance							
	Culture/Sport/Loisir							
	Sécurité publique	-						
	Santé	-						
	Culte							

Tabl. 34 - Grille d'évaluation des dommages de Chanteloup-les-Vignes.

Fig. 40 - Des « civils » ainsi que le matériel lourd des secouristes au bord du trou sans le dispositif de sécurité approprié (source : IGC Versailles).

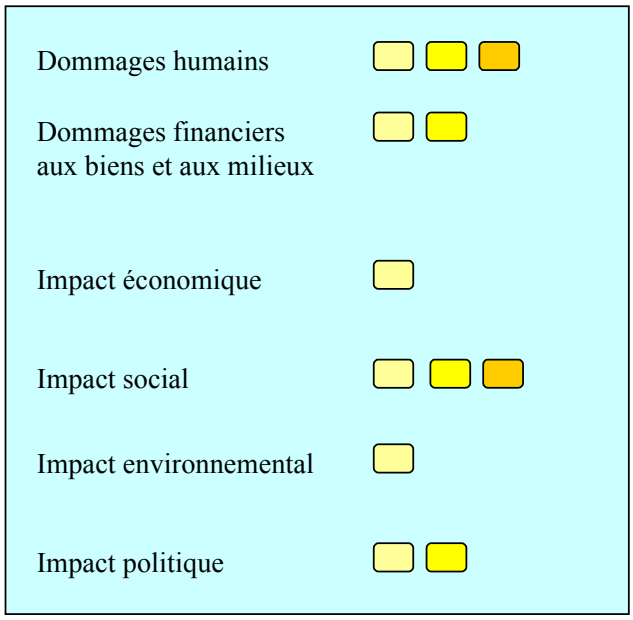


Fig. 41 - Évaluation simplifiée des dommages.

3.4.3. Auboué

Auboué est une petite ville de Meurthe-et-Moselle. La population est de 2 800 personnes (août 2000) avec une part importante de retraités.

Les centres d'activité qui occupent le plus les habitants sont l'entreprise Sovalo en Moselle et le Centre hospitalier de Briey.

a) Rappel des faits

Le 14 octobre 1996 un affaissement se produit à l'aplomb d'une mine de fer dans l'ancienne cité minière de Coinville qui se lézarde brutalement. Toujours à Auboué, le 18 novembre 1996, la rue de Metz subit un phénomène d'effondrement plus violent, de quelques secondes ressenti comme un tremblement de terre très localisé.

La crise a été gérée par les services de l'Etat. Il a été difficile à la mairie de prendre la mesure des phénomènes liés aux affaissements miniers car dans la région les exploitations ont progressivement décliné depuis les années soixante et les habitants actifs n'ont plus la pratique de la mine.

b) Les dommages observés

Dommages matériels :

- les murs des maisons se fendent et voient s'ouvrir des crevasses béantes, les planchers se gondolent ;
- 10 % de la population se trouve frappée par une catastrophe particulièrement ruineuse et traumatisante. « Les propriétaires sinistrés, des gens souvent modestes, ont été contraints de déménager en catastrophe, de se mettre en location, tout en continuant de rembourser des emprunts pour des maisons qui ne seront plus jamais habitables ». « Depuis, l'affaissement de terrain a fait jaillir une montagne de nouvelles difficultés devant des sinistrés en mal de relogement et d'indemnisation » ;
- le bitume éclate en pleine chaussée soulevée d'une cinquantaine de centimètres ;
- les trottoirs se soulèvent.

Dommages aux fonctions

- environ 150 maisons ont été rendues inhabitables. Ainsi, 70 familles à Coinville et 80 à la rue de Metz ont été évacuées et relogées dans l'urgence ;
- 300 personnes ont quitté la commune ;
- une école maternelle a été fermée du fait du départ des 300 personnes.

Les coûts de ces événements ont fait l'objet d'une évaluation par la préfecture de région Lorraine. Les résultats de ces travaux sont présentés ci-dessous.

Poste	Montant (k€)	Prise en charge
Secours d'extrême urgence	44	FDAP
Caution, agence, premier loyer	37	Fonds de solidarité pour le logement
Avances pour relogement	231	Fonds départemental d'aide aux accédants en difficulté
Indemnisation des « sans clauses »	6 107	UAP
Indemnisation des « avec clauses »	1 878 1 878	État Lormines
Acquisition des maisons « à démolir » (privées + SAREL)	Franc symbolique	Politique en traitement des espaces dégradés
Acquisition des maisons « à réparer » (privées + SAREL)	1 025	Politique en traitement des espaces dégradés
Frais de notaire	64	Politique en traitement des espaces dégradés
Démolition et traitement paysage	685	Politique en traitement des espaces dégradés
Acquisition foncière pour lotissement d'accueil	64	Ville d'Auboué
Viabilisation des terrains	672	FNDAT
Frais de géomètre et de lotissement	25	Ville d'Auboué
Frais de surveillance	-	Lormines (?)
Préjudice pour la commune: - réfection de voirie - assainissement - bâtiments publics - divers (aides, expertises, …)	 877 651 234 187	 Indemnisation demandée Indemnisation demandée Indemnisation demandée Indemnisation demandée
Total	**13 910**	

Tabl. 35 - Coût des affaissements d'Auboué et de leurs conséquences (surveillance, études) (source : Malgorne, 1998).

3.4.4. Moutiers

La population de Moutiers est de 1 948 habitants au dernier recensement (août 2000).

a) Rappel des faits

Le 15 mai 1997, à Moutiers, commune voisine d'Auboué, un effondrement minier se produit. Cet effondrement a eu des prémices qui ont permis de prévenir le maire, qui a prévenu le sous-préfet. Le maire et le sous-préfet étaient présents sur les lieux au moment de l'effondrement. L'expert judiciaire est arrivé le soir même, ainsi que des renforts de l'armée (bouclage du quartier pour éviter en particulier le voyeurisme).

L'ensemble des dommages s'est produit en deux jours. Quelques aggravations ont été observées dans les mois qui ont suivi.

Une cellule d'assistance psychologique, une permanence d'accueil et une cellule de crise ont été mises en place.

Une association de défense des sinistrés s'est créée dans les 10 jours qui ont suivi l'affaissement.

b) Origine des désordres

L'ampleur de l'affaissement est de 1,29 m (il était prévu entre 1,30 m et 1,35 m).

c) Les dommages observés

Dommages matériels :

- 150 bâtiments (202 bâtiments selon Mme le Maire) sont touchés dont 34 à démolir ;
- le château d'eau est détruit ;
- une chapelle est détruite (qui n'était plus utilisée) ;
- le réseau de gaz a été endommagé ;
- l'électricité a été coupée durant la nuit à cause de la rupture d'un câble ;
- le réseau d'eau a été fortement endommagé (la reconstruction du réseau d'eau a coûté 1 680 k€ soit 11 MF).

Dommages aux fonctions :

- la zone concernée par l'affaissement est gelée pour 5 ans (2002). Cette zone concerne un lotissement ;
- le changement d'application de la réglementation en matière de permis de construire, a généré des conflits, dus à des traitements disparates selon les dates de demande des permis de construire. Cela pose d'importants problèmes qui sont très difficiles à faire comprendre et qui condamnent le développement de la commune surtout en matière d'extension de logements, de construction de garages, plus généralement d'amélioration de l'habitat ;
- le jour de l'effondrement, la société Tamroc a décidé de délocaliser sa production ;
- sur 34 habitations qui doivent être démolies, les habitants de 9 d'entre elles restent dans la commune ;
- 2 cafés ont dû fermer ;
- un artisan sinistré a arrêté son activité pendant plusieurs mois.

Dommages		Description factuelle et normalisée	Eval dommages fonctionnels	Impact Financier	Impact Économique	Impact Social	Impact politique	Impact Environnemental
Physiques	Personnes	85% des relogés et 45% des non-relogés rencontrés ont développé des symptômes d'ESPT (T3). 300 personnes (10% de la population) ont été affectées par des troubles psychologiques momentanés suite à l'événement (T2-3).		€		3		
	Biens	Au moins 230 habitations touchées. 150 maisons rendues inhabitables (T3, T4). Chaussée endommagée (soulèvement de 50 cm par endroits) (T3), soulèvement des trottoirs (T3). Pas d'info sur les réseaux. Cimetière endommagé (T2). Réseau d'assainissement (nd) Dommages aux bâtiments publics (nd)		14 000 k€	Représenté dans les dommages aux fonctions			
	Ressources	-		€				-
Fonctionnels	Logement	150 (ISF : 2-3) maisons inhabitables (ID : 4). Durée indéterminée (D : 4).	3	Pas d'évaluation financière, remplacée par les différentes mesures d'impacts	2	3	3	-
	Transport	Rue de Metz interdite à la circulation motorisée pendant plusieurs mois (ISF : 2 ; D : 3 ; ID : 3)	2		1-2	1-2	2	
	Approvisionnement Gestion des déchets Production Communication	Gaz (nd) ID : 2-3 (fuite ou interruption ?) ; D : 3 ; ISF : 2	2			2		
	Éducation	Fonction éducative maintenue mais une école est fermée suite au départ de 300 personnes. Légère perturbation probable (ID : 1 ; ISF : 1 ; D : 4)	2			2	2	
	Gouvernance Culture/Sport/Loisir	Défaut d'information, conflit de décision, divergence des positions officielles (ID : 2 ; D : 4 ; ISF : 2)	2		-	2	3	-
	Sécurité publique	Altération (moyens supplémentaires minimes : balisage) (ID : 1)	1					
	Santé Culte	- -						

Tabl. 36 - Grille d'évaluation des dommages d'Auboué.

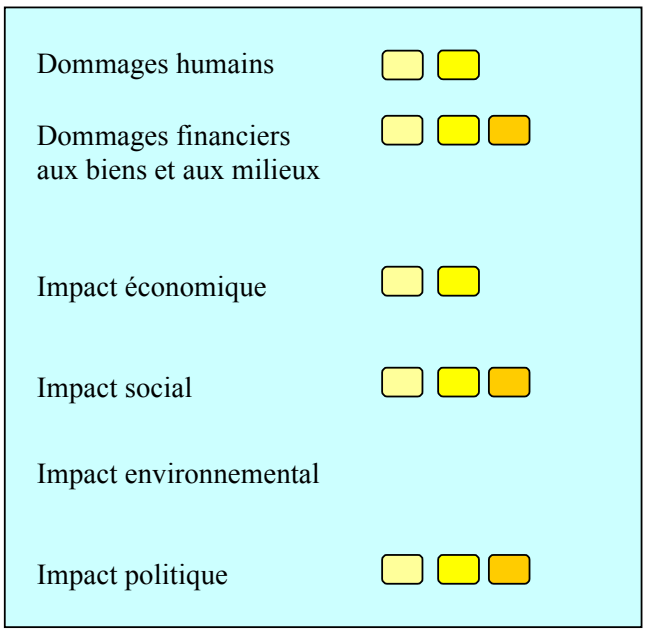


Fig. 42 - Évaluation simplifiée des dommages.

Poste	Montant (k€)	Prise en charge
Secours, relogement	16	FDAP
Indemnisation des « sans clauses »	15 267	UAP
Indemnisation des « avec clauses »	954 954	État Lormines
Acquisition, démolition, retraitement sur les cités	1 527	Politique en traitement des espaces dégradés
Préjudices pour la commune de Moutiers	2 624	-
Total	**21 342**	

Tabl. 37 - Coût de l'affaissement à Moutiers et de ses conséquences (surveillance, études) (source : Malgorne, 1998).

3.4.5. Saint-Émilion

Saint-Émilion est une commune de 2 250 ha en Gironde dont la population compte environ 2 444 habitants.

L'essentiel de l'économie est tourné vers la viticulture. La très grande qualité des vins produits induit une valeur très forte des terrains viticoles. La majeure partie de la commune est sous-cavée.

a) Rappel des faits

En décembre 1997 un effondrement s'est produit sur la parcelle AO 86 (dans les vignes de Belair) à l'aplomb d'une carrière de calcaire. Cet événement fait partie d'une série d'effondrements qui ont eu lieu sous le vignoble de Belair ainsi que dans le voisinage, dont le premier remonte en janvier 1887.

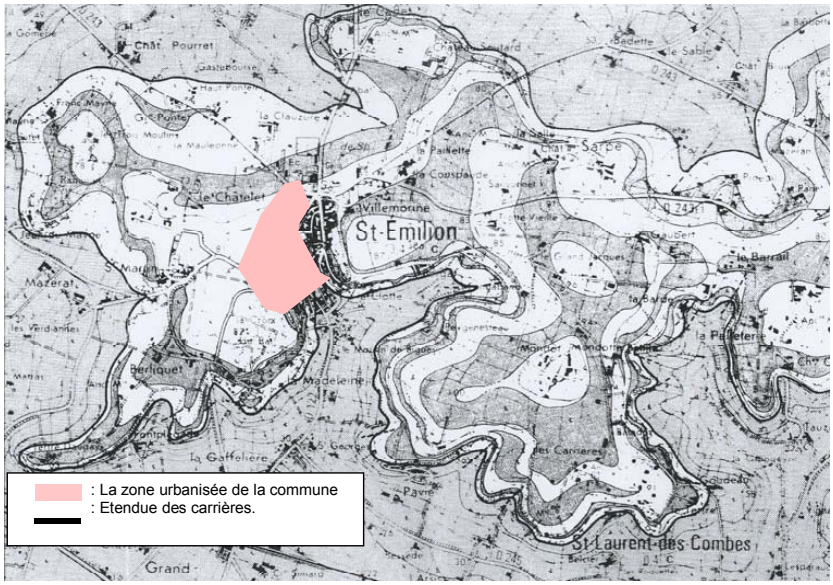


Fig. 43 - Étendue des terrains sous-cavés à Saint-Émilion (source : Service des carrières en Gironde).

Fig. 44 - La parcelle de vignoble effondrée (source : BRGM).

b) Origine des désordres

Un fontis de forme elliptique, d'une superficie supérieure à 1 000 m² (30 m x 45 m) et de 4 à 5 m de profondeur, s'est formé en surface, provoquant la coupure d'une voie carrossable privée. L'épaisseur de recouvrement au droit de l'effondrement est de 4 à 5 m, dont 0,80 à 1,20 m de terre végétale en tête. La hauteur des galeries atteint 6 m, mais plusieurs niveaux superficiels de type mezzanine borde la zone effondrée. Les piliers, de 5 m de hauteur et de 3,50 à 4 m de portée, paraissent sains, mais plusieurs présentent des fissures mécaniques.

c) Travaux réalisés

Cet effondrement n'a pas été remblayé à ce jour. Les seuls travaux réalisés se résument aux mesures de sécurité entreprises par le propriétaire de Belair tout autour de la zone effondrée.

Toutefois, des études ont été menées pour déterminer, de manière globale, les mécanismes susceptibles d'intervenir, et ceci à l'échelle d'une zone de 25 ha comportant quatre niveaux de carrières, plus ou moins superposés. La superficie totale des zones étudiées représente 2,5 ha, soit environ 10 % de la surface totale estimée des carrières souterraines dans la zone d'étude.

d) Les dommages observés

Les dommages matériels :

- effondrement d'une parcelle plantée de vignes, dont la valeur foncière est estimée à 152 k€ ;
- destruction de toutes les vignes sur cette parcelle.

Dommages		Description factuelle et normalisée	Eval dommages fonctionnels	Impact Financier	Impact Économique	Impact Social	Impact politique	Impact Environnemental
Physiques	Personnes			€	Représenté dans les dommages aux fonctions			
	Biens			€				
	Ressources	Effondrement d'une parcelle de terrain agricole d'une superficie supérieure à (30x45) m^2 (T4)		650 k€				1
Fonctionnels		Destruction de tout le vignoble sur cette parcelle (T4)		Pas d'évaluation financière, remplacée par les différentes mesures d'impacts				
	Logement							
	Transport							
	Approvisionnement Gestion des déchets							
	Production	La parcelle effondrée n'assure plus la production du vin (ID : 4, destruction), le propriétaire lui seul est concerné (ISF : 1) durant plusieurs années (D : 4)	2	1	1	1		
	Communication							
	Éducation							
	Gouvernance							
	Culture/Sport/Loisir							
	Sécurité publique							
	Santé							
	Culte							

Tabl. 38 - Grille d'évaluation des dommages de Saint-Emilion.

Les dommages aux fonctions :

Arrêt d'exploitation sur cette parcelle depuis 1997, les pertes à la production sont estimées à 41 k€/an.

L'événement a eu lieu dans une zone notoirement sous-cavée, où des effondrements se sont déjà produits. La population est familière de ce type d'événement.

Il existe un Service des carrières au sein du Département qui est consulté pour l'obtention des permis de construire. Un PPR est élaboré mais non encore prescrit. Les problèmes liés à la prise en compte du risque d'effondrement des cavités sont pris en charge par le Service des carrières du Conseil Général de la Gironde et par la mairie, tant du point de vue technique, que de l'information de la population.

C'est essentiellement la ressource foncière, qui sert de support à un vignoble de très forte valeur, qui est affectée. La commune a été peu affectée par l'événement.

La procédure d'indemnisation « catastrophe naturelle », n'intervient pas dans ce cas car il ne s'agit pas d'un bien assuré à ce titre. C'est d'ailleurs le propriétaire qui a pris à sa charge les réparations.

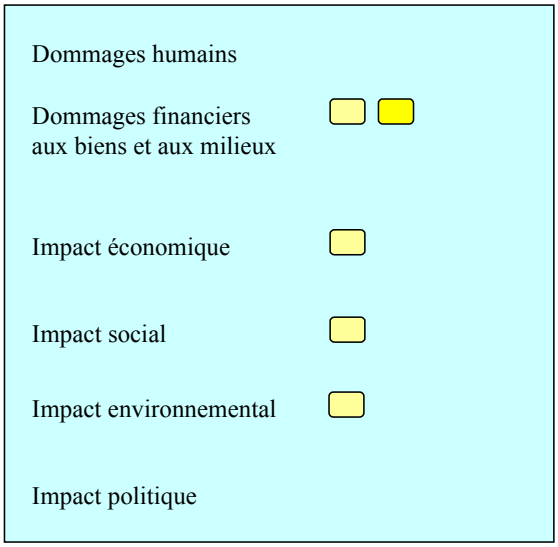


Fig. 45 - Évaluation simplifiée des dommages.

3.5. CONCLUSIONS

L'analyse des résultats obtenus et des données disponibles montre que :

- *a posteriori* il manque des données, en particulier sur le contexte de l'événement. Ceci met en évidence que pour utiliser de façon judicieuse l'échelle, il faut avoir acquis les informations au moment de la crise ;

- certaines notions simples de dommages locaux, régionaux… permettent d'arriver assez rapidement au consensus dans l'évaluation ;
- des valeurs simples sont mises en évidence, elles permettent avec le recul de repositionner les événements dans la hiérarchie des phénomènes comparables ;
- malgré cet effort de caractérisation, la prise en compte des dimensions politique ou médiatique par exemple est importante car pour certains événements ce sont les conséquences de cet ordre qui constituent le dommage essentiel.

4. Conclusions

La construction de l'échelle de dommages liés aux cavités souterraines a permis de mettre en place une méthode d'analyse et d'évaluation de dommages, tant physiques, que fonctionnels, qu'économiques, que sociaux, politiques ou environnementaux.

Ce sont les échelles typologiques et la définition standard des niveaux de dommages qui constituent l'outil de description de l'échelle.

À l'aide des deux grilles descriptives, cette échelle peut être utilisée comme un outil détaillé permettant à la fois la description et l'analyse d'un événement ou comme un outil de synthèse permettant d'exprimer une situation et d'attirer l'attention des responsables sur ce qu'elle peut avoir ou non de grave.

L'ensemble des dommages et de leurs impacts est identifiable et évaluable selon une grille homogène, qu'il s'agisse de dommages physiques et fonctionnels ou d'impacts sociaux, politiques, économiques ou environnementaux.

L'utilisation de quatre niveaux utilisant le critère « territorial significatif », c'est-à-dire les notions de dommage d'importance individuelle, locale, régionale, nationale et internationale, permet une description simple et homogène, qu'il s'agisse de dommages fonctionnels ou d'impacts économiques, sociaux, environnementaux ou politiques.

Les estimations de dommages effectuées à partir de cette échelle ne diffèrent pas ou peu, selon qu'elles sont réalisées par des particuliers, une association ou les services de l'État. Elles sont indépendantes des acteurs qui évaluent, à condition bien sûr que ceux-ci aient une bonne connaissance des dommages. Elles permettent cependant à chaque type d'acteur de juger de l'impact d'un événement à l'aune de ses préoccupations en affectant des poids relatifs aux critères sociaux, économiques, politiques ou environnementaux.

Les critères utilisés dans les deux échelles de dommages globaux, celles du MEDD et du BARPI, sont également présentes dans l'échelle développée ici et il est donc possible d'établir des liens entre ces échelles.

L'outil semble donc répondre aux besoins d'évaluation exprimés ou implicites, des gestionnaires des risques liés aux cavités souterraines.

Il doit être à la fois utilisé pour être testé sur le terrain et pour poursuivre les analyses sur les dommages ce qui nécessite des développements ultérieurs.

Certes la recherche a bénéficié de l'expérience de terrain des équipes de l'INERIS et du BRGM, mais l'outil n'a pas eu l'occasion d'être testé en grandeur réelle, sur des cas « vivants », c'est-à-dire actuels, par les gestionnaires du risque tels que les maires ou les services de l'État.

De plus, la notion de « territoire » n'a pas été abordée : l'évaluation d'un événement circonscrit géographiquement a été traitée, mais un ensemble d'événements, se produisant dans un laps de temps homogène tel qu'un événement pluvieux ou une saison sur une zone donnée (par exemple le plateau picard) n'a pas fait l'objet de l'étude. Faut-il aborder les dommages événement par événement ou globalement ?

Une méthodologie d'analyse et d'évaluation des dommages a été développée, n'est-elle applicable qu'aux cavités ou peut elle être étendue à d'autres phénomènes ? A priori, l'expérimentation de cette méthode à d'autres événements semble être une extension réaliste pertinente.

Enfin, dans la mesure où l'on dispose d'un outil d'évaluation de dommages, ce qui permet de comparer des événements entre eux, il est intéressant de rechercher ce qui a fait que des événements apparemment semblables par les dommages physiques sont différents dans leurs impacts sociaux ou politiques. Évaluer ces impacts, c'est se donner les moyens d'identifier des vulnérabilités différentes et d'en rechercher les facteurs.

L'une des voies pour caractériser les facteurs de vulnérabilité serait de tracer des profils événement/dommages dans le temps, c'est-à-dire d'évaluer, pour un événement donné, l'évolution des impacts économiques, politiques sociaux ou environnementaux. Ceci permettrait d'identifier des facteurs d'aggravation de certaines situations.

Afin de valoriser l'échelle de dommages liés aux cavités souterraines il serait donc intéressant d'en suivre l'application par les responsables de la gestion des risques, d'en vérifier la possibilité d'utilisation pour d'autres phénomènes et de l'utiliser pour mener des analyses sur les facteurs de vulnérabilité. De nombreux cas devraient être étudiés, lors de l'occurrence d'événements, mais aussi par retours d'expérience.

Références bibliographiques par thème

TERMINOLOGIE, CONCEPTS

Arnal C. Lutoff, Masure Ph., Thierry P. (1998) - Projet Gemitis Nice. Identification des principaux enjeux sur la ville de Nice, 1998. Rapport BRGM pour la SDPRM/MATE R 39907.

Arnal C., Masure P. (1999) - L'évaluation de l'impact économique et financier de la catastrophe de Nîmes d'octobre 1988. *In* Le coût du risque. L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations. Gilles Hubert et Bruno Ledoux. Presses de l'École Nationale des Ponts-et-Chaussées.

Arnal C., Marçot N. (2000) - Projet GERIA. Prise en compte des risques naturels, Gestione Rischi Ambientali. Rapport d'avancement phase 1. Inventaire des phénomènes naturels, des aléas et des éléments exposés. Rapport BRGM RP-50185-FR.

Barrere-Lutoff C. (2000) - Le système urbain niçois face à un séisme, méthode d'analyse des enjeux et des dysfonctionnements potentiels. Thèse de doctorat de géographie de l'Université de Savoie.

BRGM (2001) - Réduction de la vulnérabilité humaine aux éruptions volcaniques en Martinique. Rapport R 40716.

Dacunha-Castelle D. (1996) - Chemins de l'aléatoire, Flammarion.

Hubert G., Ledoux B. (1999) - Le coût du risque. L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations. Presses de l'École Nationale des Ponts-et-Chaussées.

IDNDR (1992) - Glossaire international multilingue agréé de termes relatifs à la gestion des catastrophes. Nations-Unies, département des affaires humanitaires, Genève.

Kervern G.Y. (1995) - Éléments fondamentaux des cindyniques. Economica.

Lagadec P. (1993) - Apprendre à gérer les crises. Société vulnérable – Acteurs responsables. Les Éditions d'organisation. Paris.

Leroy A., Signoret J.P. (1992) - Le risque technologique. Que sais-je n° 2669. Presses Universitaires de France.

MEDD (Ministère français chargé de l'Environnement) (1997) - Plans de prévention des risques naturels (PPR), risques de mouvements de terrain. Guide méthodologique. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Ministère de l'équipement, des transports et du logement. La documentation française.

MEDD (Ministère français chargé de l'Environnement) (2002) - Définition générale du risque majeur. http://www.prim.net/citoyen/definition_risque_majeur/definition.html. Définition affichée en 2002.

Masure P. (1995) - Gestion des risques et des crises liés à l'instabilité des carrières souterraines abandonnées. Bulletin de l'association internationale de Géologie de l'Ingénieur. Paris, n° 51, 129-137.

Peretti-Watel P. (2001) - La société du risque. Collection Repères. Ed. La Découverte.

Périhlon P. (1999) - Réflexions sur les modèles de la science du danger. Actes de l'Ecole d'été d'Albi « Gestion scientifique du risque », 6-10 septembre 1999. École des mines d'Albi – Ecole des mines de Saint-Etienne.

Robert P. (1977) - Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française. Société du Nouveau Littré.

Theys J. (1987) - La société vulnérable. *In* La société vulnérable. Evaluer et maîtriser les risques. Textes réunis par J.L. Fabiani et J. Theys. Presses de l'Ecole Normale Supérieure, Paris, 1987, 3-36.

Torterotot J.P. (1993) - Le coût des dommages dus aux inondations : estimation et analyse des incertitudes. Thèse de doctorat de l'École Nationale des Ponts-et-Chaussées, 283 p.

Wybo J.L. (1998) - Gestion des dangers et systèmes d'aide à la gestion. Introduction aux cindyniques. Ed. Eska, 177-201.

RISQUE

Bernstein P. (1998) - Against the gods. The remarkable story of risk. New York, John Wiley & sons. ISBN 0-471-29563-9.

BRGM (1998) - Approche méthodologique de la vulnérabilité aux phénomènes volcaniques. Test d'application sur les réseaux de la Martinique. Rapport BRGM R40098.

Cardinal L., Gosselin P., Nantel A. (1989) - L'analyse des risques socio-sanitaires d'origine environnementale, état de situation et recommandations. Document de travail, 83 p.

CCME (1996) - Recommandations canadiennes pour la qualité des sols. Conseil canadien des ministres de l'environnement, Programme national d'assainissement des lieux contaminés, 206 p.

De Montgolfier J. (1989) - Guide technique du forestier méditerranéen français. Chapitre 4 : Protection des forêts contre l'incendie. Cemagref Aix-en-Provence, 18 fiches.

Debia M., Zayed J. (2003) - Les enjeux relatifs à la perception et à la communication dans le cadre de la gestion des risques sur la santé publique. VertigO - La revue en sciences de l'environnement, vol. 4, n° 1.

Ewald F. (1986) - L'État providence. Grasset, Paris, 1986.

Favaro M., Monteau M. (1990) - Bilan des méthodes d'analyse a priori des risques. Principales méthodes de la sécurité des systèmes. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Service accidentologie, cahiers de notes documentaires, 2ème trimestre, n° 139. ISBN 2-85599-934-0.

Frischknecht C., Wagner J.J. (2001) - Les sciences de la terre et de l'environnement et la problématique du risque majeur. Programme plurifacultaire du Rectorat « Management des risques majeurs : des disciplines à l'interdisciplinarité ». Document de travail n° 1. Université de Genève.

Gosselin P., Sylvain J., Sergerie M. (1984) - Appréciation du risque en santé publique. Revue de quelques principes et méthodes. Département de santé communautaire, Centre hospitalier régional de Rimouski. 91 p.

Inhaber H., Norman S. (1982) - The Increase in Risk Interest. Society for Risk Analysis, Letter to the Editor, vol. 2, 119-120.

ISDR (2002) - Living with risk, a global review of disaster reduction initiatives. Preliminary version. United Nations. Inter-Agency Secretariat « International Strategy for Disaster Reduction », Palais des Nations, Geneva.

Kerven G.Y. (1999) - Le point sur les Cindyniques au 1 septembre 1999, sciences du danger. École d'été « Gestion scientifique du risque », 6/10, Albi, France. http://www.agora21.org/ari.

Kerven G.Y., Rubise P. (1991) - L'archipel du danger. Introduction aux cyndiniques. Institut Européen de Cyndiniques. Ed. Economica, 444 p. ISBN 2-7178-2061-2.

La Recherche Environnement (1989) - Supplément au n° 212 de La Recherche. Risques naturels et technologiques, p. 3.

Lagadec P. (1994) - La gestion des crises. Outils de réflexions à l'usage des décideurs. Ed. Ediscience international, Paris. ISBN 2-84074-054-0.

Larousse (1987) - Grand Larousse en cinq volumes. Librairie Larousse, p. 2666.

Le Robert (1988) - Dictionnaire de la langue française, vol. 8, p. 426.

Leroy A., Signoret J.P. (1992) - Le risque technologique. Presses universitaires de Paris, collection « Que sais-je ? » ISBN 2-13-044758-9.

Lievens C. (1976) - Sécurité des systèmes. Toulouse, CEPADUES, 1976.

Merad M., Verdel T., Kouniali S., Roy B. (2003) - Méthodologie de hiérarchisation du risque d'effondrement minier sous bâti et infrastructures. Application au bassin ferrifère lorrain. Colloque après-mines 2003, 5-7 février, Nancy.

Monteau M., Favaro M. (1990) - Bilan des méthodes d'analyse *a priori* des risques. Des contrôles à l'ergonomie des systèmes. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Service accidentologie, cahiers de notes documentaires, 1er trimestre, n° 138. ISBN 2-85599-920-0.

National Research Council (NRC) (1983) - Risk Assessment in the Federal Goverment: Managing the Process. Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health. National Academy Press, Washington, D.C. ISBN 0-309-03349-7.

National Research Council (NRC) (1994) - Science and Judgment in Risk Assessment. Commitee on Risk Characterization. Committee on Risk Assessment of Hazardous Air Pollutants. Commission on Life Sciences. National Academy Press, Washington, D.C. ISBN 0-309-07490-8.

Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management (PCRARM) (1997) - Framework for Environmental Health Risk Management. Final Report, vol. 1, p. 3.

Rhainds M. (1993) - Caractérisation de l'exposition. Dans l'évaluation des impacts des grands projets sur la santé. Cahier d'introduction à l'évaluation des impacts sur la santé. Comité de santé environnementale du Québec ; cahier n° 2, 59-82.

Ruegsegger R. (1998) - Manual for Abandoned Underground Mine Inventory and Risk Assessment. Ohio Departement of Transport (ODOT), Office of Materials Management. http://www.fhwa.dot.gov/mine/mmcover.htm.

San Miguel J. (2003) - Forest fire risk evaluation. Institute for Environment and Sustainability. European Commission. http://natural-hazards.jrc.it/fires/risk/.

Signoret J.P., Leroy A. (1986) - La prévision du risque technologique. La recherche, n° 183, 1596-1607.

Villeumeur A. (1988) - Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels. Fiabilité – Facteurs humains, informatisation. Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, ed. Eyrolles. ISSN 0399-4198.

ÉCHELLES DE DOMMAGES

Alexander D. (1989) - Urban landslides. *Progress in Physical Geography*, 13, 157-191.

Autorité de Sûreté Nucléaire « ASN » (1994) - Échelle Internationale des Événements Nucléaires (INES). « Manuel de l'utilisateur » publié par l'AIEA.

BARPI (1993) - Échelle de gravité des accidents industriels. Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles, Ministère chargé de l'Environnement, Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques, Service de l'Environnement Industriel. Édition Binome.

Bhattacharya S., Singh M.M. (1984) - Proposed criteria for subsidence damage to buildings. Rock mechanics in productivity and production, 25st Symposium rock mechanics, 747-755.

Binzel R.P. (1997) - A near-earth object hazard index. *Annals New York Acad. Sci.* **822**, 545-551.

Blong R. (1999) - Damage Index 1999. *Natural Hazards Quarterly*, vol. 5, Issue 4.

Bolt, Bruce A. (1993) - Abridged Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquakes - Newly Revised and Expanded, Appendix C, W.H. Freeman and Co, 331 p.

BRGM (1998) - Approche méthodologique de la vulnérabilité aux phénomènes volcaniques. Test d'application sur les réseaux de la Martinique. Rapport BRGM R 40098.

Bruhn R.W., McCan W.S., Speck R.C., Gray R.E. (1982) - Damage to structure above active underground coal mines in the normative appalachian coal field. First int. Conf. On stability in underground mining, chap. 47, 1022-1046.

Burland J.B. (1997) - Assessment of risk of damage to buildings due to tunneling and excavation. Earthquake geotechnical engineering, éditions Ishihara, Balkema, 1189-1201.

CFGI (2000) - Caractérisation et cartographie de l'aléa dû aux mouvements de terrain. Collection environnement. Les risques naturels. ISBN 2-7208-5001-8.

Crowder B. (1995) - The wonders of the weather. Bureau of Meteorology, Australian Government Publishing Service, Canberra, 270 p.

Davidson R.A. (1997) - An Urban Earthquake Disaster Risk Index. John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, Report n° 121, 269 p.

Drogaris G. - Major Accident Reporting System. Lessons Learned from Accidents Notified. Eur 15060 EN, Elsevier, Amsterdam.

FEMA (1999) - Earthquake Loss Estimation Methodology. HAZUS99 Technical Manual. Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.

Fujita T. (1981) - Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. *J. atmosph. Sci.*, vol. 38, n° 8, 1511-1534, ISSN 0022-4928.

Ghassan Zhiri, (Nancy, Décembre 2003) - Une échelle de dommages pour les affaissements de terrain. Thèse de Doctorat de l'INPL, Laboratoire Environnement Géomécanique et Ouvrages, École des Mines.

Grünthal G. (1998) - European Macroseismic Scale (EMS98). Conseil de l'Europe. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, vol. 15.

Guillande R. (2001) - Détermination d'une échelle d'intensité en 5 niveaux par types d'aléas. Rapport soumis au MEDD. GSC, Département risques naturels, Paris, n° du marché : 0110043002377501.

Hamblin A. (1998) - Environmental indicators for national state of the environment reporting - the land. Australia : State of the Environment, Environmental Indicator Reports, Department of the Environment, Canberra.

Ji-Xian C. (1985) - The effects of mining on buildings and structural precautions adopted. 3e Int. Conf. Large ground mouvements and structures (Cardiff), 404-419.

Kaly U., Briguglio L., McLeod H., Schmall S., Pratt C., Pal R. (1999) - Environmental Vulnerability Index (EVI) to summarise national environmental vulnerability profiles. South Pacific. Applied Geoscience Commission (SOPAC) Technical Report 275, Suva, Fiji, 67 p.

Lehmann D.R., Gupta S., Steckel J.H. (1998) - Marketing research. Addison-Wesley, Massachusetts.

Léone F. (1996) - Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain. Rapport de thèse. Université Joseph Fourier, Grenoble 1.

MATE (2002) - Les événements naturels dommageables en France et dans le monde en 2001. Retour d'expérience. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques. Cellule Retour d'expérience.

METEO-FRANCE (2001) - Guide et carte de vigilance. http://www.meteo.fr/meteonet/vigilance/.

Murty T.S. (1977) - Seismic sea waves, tsunamis. Canadian Department of Fisheries and the Environment, Bulletin 198, 337 p.

National Coal Board (1975) - Subsidence engineer's handbook.

NHRC (1999) - Risk Fontiers Damage Scales. Macquarie University New South Wales 2109, Australia.

OJEC (1989) - Official Journal of the European Communities. C 273.

Papadopoulos A., Imamura F. (2001) - A proposal for a new tsunami intensity scale. ITS 2001 Proceedings, Session 5, n° 5.1.

Pellisier J.P., Williams A.A.B., Lunt B.G. (1992) - Predicting and assessing undermining induced distress in typical south african buildings. COMA, Symp. On construction over mined areas, Pretoria, South Africa, Mai 1992, 117-123.

Rejewski D. (1993) - GIS and risk : a three culture problem. Edition M.F. Goodchild, B.O. Parks and L.T. Steyaert. Environmental modelling with GIS, OUP, New York, 318-331.

Russel B. (2003) - A review of Damage Intensity Scales. *Natural Hazards*, n° 29, 57-76. Kluwer Academic Publishers.

Simpson R.H., Riehl H. (1981) - The Hurricane and its impact. Louisiana State University Press, Baton Rouge, La.

Soloviev V. (1978) - Tsunamis. In The assessment and mitigation of earthquake risk. UNESCO, Paris.

Sponheuer W., Karnik V. (1964) - Neue seismische Skala. *In* Sponheuer W. (Ed.), Proc. 7th Symposium of the ESC, Jena, 24-30 Sept. 1962, Veröff. Inst. f. Bodendyn. u. Erdbebenforsch. Jena d. Deutschen Akad. d. Wiss., No 77, 69-76.

Thibault C. (1994) - Réflexions sur l'évaluation quantitative du risque sismique. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 194, réf. 3850, 11-19.

Tiedemann H. (1992) - Earthquakes and Volcanic Eruptions. A Handbook on Risk Assessment by Swiss Reinsurance Company, Zurich.

Webb J.D.C., Elsom. D.M., Reynolds D.J. (2001) - Climatology of severe hailstorms in Great Britain. *Atmospheric Res.,* **56**, 291-308.

Whitman R.V., Reed J.W., Hong S.T. (1973) - Earthquake damage probability matrices. 5th world conference on earthquake engineering, Roma, 2531-2540.

Yamazaki F., Noda S., Meguro K. (1998) - Developments of early earthquake damage assessment systems in Japan. Proc. of 7th International Conference on Structural Safety and Reliability, 1573-1580.

CAVITÉS, ALÉA ET RISQUE

Boussageon B., François X. (1996) - L'exploitation des carrières. Nouveaux régimes juridique, réglementaire et fiscal. Éditions ESKA. ISBN 2-86911-344-7.

BRGM (1994) - Cartographie des cavités souterraines abandonnées et des risques qui leur sont liés en France métropolitaine. Rapport R 38371.

BRGM (1998) - Approche méthodologique de la vulnérabilité aux phénomènes volcaniques. Test d'application sur les réseaux de la Martinique. Rapport BRGM R 40098.

Code Minier - http://www.legifrance.gouv.fr/citoyen/uncode.ow?code=CMINIER0.rcv.

Josien J.P. (1995) - Diagnostique et caractérisation des aléas. *Bull. Assoc. Internat. Géol. Ingénieur*, **51**, Paris, 95-111.

MATE (1999) - Plans de prévention des risques naturels (PPR) - Risques de mouvements de terrains - Guide méthodologique. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement - Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement. Paris : La Documentation Française.

Ministère de l'Industrie (1965) - Exploitations à piliers abandonnés. Direction des Mines, Service Hygiène et Sécurité Minières. Circulaire DM/H n° 467 du 14 octobre 1964.

Thorin M. (1992) - Massif de l'Hautil. Méthode d'évaluation du risque d'effondrement des carrières souterraines de gypse abandonnées. Rapport de synthèse.

Tritsch J.J. (2000) - Évaluation des aléas liés aux cavités souterraines. Synthèse du groupe de travail du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. INERIS, Direction des Risques du Sol et du Sous-sol.

Watelet J.M. (1998) - Méthodologie d'analyse des dangers appliquée à l'exploitation des carrières souterraines. Rapport final. INERIS SSE-99-21EP48/R01.

ENJEUX, DOMMAGES

Arnal C. (2002) - Impact Assessment ; Deliverable, in ANFAS IST-1999-project (Data Fusion for Flood Analysis and Decision Support) ; V PCRD 11676.

Arnal C., avec la collaboration de M. Messin (2000) - Identification des dommages liés à la déprise minière en Lorraine. Approche méthodologique et bibliographique Rapport BRGM RP-50213, 39 p.

Chaline C., Dubois-Maury J. (1994) - La ville et ses dangers. Prévention et gestion des risques naturels, sociaux et technologiques. Paris, Masson, collection Pratiques de la géographie, 247 p.

De Rosnay J. (1975) - Le macroscope. Vers une vision globale. Editions du seuil. ISBN 2020045672.

Leplat J., Cuny X. (1974) - Les accidents du travail, Paris, PUF.

Lutoff C. (2000) - Le système urbain niçois face à un séisme. Analyse des enjeux et des dysfonctionnements potentiels. Rapport de thèse (doctorat) de l'Université de Savoie.

Major W., Golay F. (1996) - Une approche systémique du territoire et de sa dynamique. Proc. du 3ème congrès européen de systémique. Actes CES. Rome.

MATE (2001) - Estimation des dégâts après « grands événements ». Rapport définitif. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Direction de la Prévention des pollutions et des Risques. Sous-Direction de la Prévention des Risques majeurs.

Offner J.M. (2000) - Réseaux et dynamiques urbaines. Editions La découverte, textes à l'appui/série l'état des savoirs.

Royet B.G. (1998) - La prise en compte du risque sismique dans une petite commune. L'exemple de Wickerschwihr (Haut-Rhin*). Bull. Lab. Ponts et Chaussées*, n° 217, réf. 4174, 31-52.

ÉTUDES DE CAS

ANTEA (1996) - CHANAZ (73) - Effondrement de carrières souterraines sous le CD 210, étude géotechnique. Rapport ANTEA A.06801.

BRGM (1996) - Effondrement de carrières souterraines à Chanaz (Savoie) au lieu-dit Lacour le 21 juillet 1996. Visites des 21,22 et 23 juillet 1996. Rapport BRGM R 39089.

Geffraye G. (1996) - Rapport de l'ingénieur de l'industrie et des mines. DRIRE Rhône-Alpes. Chambéry, Préfecture de la Savoie, subdivision de la Savoie 5.

Malgorn B. (1998) - Bassins miniers nord-lorrains. Mission d'étude et de propositions. Préfecture de la région Lorraine.

Préfecture des Yvelines - DDE des Yvelines (1997) - Dossier Départemental des Risques Majeurs. Mission Environnement. http://www.yvelines.pref.gouv.fr/ddrm.htm.

Revet Ch. (2001) - Les mines et cavités souterraines. Commission des Affaires économiques et du Plan. Rapport n° 70 de la session ordinaire 2000-2001 du Sénat.

Sénat (1999) - Les mines et cavités souterraines. Rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Rapport 1540-06.

Thorin M. (1992) - Massif de l'Hautil. Méthode d'évaluation du risque d'effondrement des carrières souterraines de gypse abandonnées. Rapport de synthèse.

Vincent M., Mathon C. (1999) - Caractérisation de l'aléa lié à la présence de carrières souterraines abandonnées en périphérie immédiate de la ville de Saint-Émilion (Gironde). Secteur sud-ouest de la ville. Rapport BRGM, R 40635.

ANNEXE 1

Définitions et concepts

Dans cette annexe sont présentées les différentes définitions des principaux termes utilisés dans l'étude. En fin de paragraphe, sont rappelées les définitions retenues.

1.1. LE RISQUE

Le risque est une notion utilisée dans le langage courant qui, dans la théorie générale du risque, prend des sens différents selon le contexte dans lequel on se place.

1.1.1. Étymologie et définitions générales

Si l'on se réfère à l'étymologie du mot risque (qui viendrait de l'italien *risco* ou de l'espagnol *riesgo*, dérivés eux-mêmes du latin *resecum* : « ce qui coupe »), on découvrira que le mot désignait à l'origine l'écueil qui menace les navires, puis plus généralement tout danger encouru par les marchandises en mer. Une autre origine étymologique possible, le roman *rixicare* évoque également le danger. Toutefois, la première étymologie associe le risque à la volonté d'entreprendre en maîtrisant le danger et d'emblée, cette étymologie associe le risque aux assurances maritimes (Perreti-Watel, 2001) qui en supporteront la charge moyennant le versement d'une prime.

Aujourd'hui, que l'on évoque les risques dont l'origine est naturelle ou industrielle (on utilise souvent mais abusivement les expressions de « risques naturels » ou « risques industriels »), ces risques désignent, d'une façon ou d'une autre, l'importance estimée des pertes pouvant résulter de l'occurrence d'un ou plusieurs événements indésirables qui ont une origine naturelle ou industrielle.

Plus généralement, les industriels s'entendent depuis longtemps pour considérer le risque comme une entité reposant principalement sur deux dimensions : *probabilité* d'une part et *conséquences* (ou *gravité des conséquences*) d'autre part (Leroy et Signoret, 1992). Ainsi, pour un même phénomène indésirable, le risque sera d'autant plus grand que la probabilité d'occurrence du phénomène est grande ou que ses conséquences sont importantes. Certains modèles plus récents envisagent d'autres dimensions non techniques pour l'évaluation des risques comme dans le modèle des cindyniques (Kervern, 1999).

Concernant les risques d'origine naturelle, le ministère de l'environnement définit le risque (majeur) comme la « *confrontation d'un aléa avec des enjeux*» (MEDD, 2002). Le guide PPR précisant cette définition selon les termes suivants : « *pertes probables en vies humaines, en biens et en activités consécutives à la survenance d'un aléa naturel* » (MEDD, 1997).

Mais puisque les notions de risque que nous venons d'évoquer recouvrent par ailleurs des notions courantes et que les spécialistes en ont proposé des définitions qui leur sont propres, il apparaît nécessaire d'apporter des précisions sur les concepts-clefs qui s'en dégagent.

1.1.2. Du danger au risque

Toutes les définitions qu'on peut trouver s'accordent pour exprimer le danger comme une situation ou un état susceptible d'entraîner des conséquences indésirables (prendre le bateau par gros temps, habiter au bas d'une falaise réputée instable, etc.).

Le guide PPR le définit par exemple comme un « *état qui correspond aux préjudices potentiels d'un phénomène naturel sur les personnes* » (MEDD, 1997).

En d'autres termes plus techniques et dans le cadre de la méthodologie d'analyse des dysfonctionnements dans les systèmes (MADS), Pierre Périhlon définit le danger comme « *un état d'équilibre métastable caractérisé par un ensemble de processus potentiels* » (Périhlon, 1999).

Nous retiendrons donc simplement que le danger est une situation qui peut évoluer en accident ou en catastrophe, entraînant ainsi des dommages, des préjudices.

La probabilité avec laquelle peut évoluer cette situation et l'intensité des dommages qui peut résulter de cette évolution fourniront une « mesure » du danger exprimée par le risque. Le risque exprime ainsi ce qui sépare le danger de l'accident. Il est une mesure du potentiel destructeur d'une situation en termes de probabilité d'occurrence et d'intensité des conséquences. Il en mesure, en quelque sorte, la criticité.

1.1.3. Le risque mathématique

Au contraire des autres acceptions du mot risque, le risque mathématique est un concept parfaitement défini. Ainsi, dans l'univers des possibles, à chaque événement est associé la perte ou le gain que sa réalisation implique. Le risque mathématique est alors défini comme l'espérance mathématique de cette perte-gain. Le risque mathématique est donc un nombre calculé comme une moyenne (Dacunha-Castelle, 1996) qui combine probabilités et conséquences comme dans la définition donnée en début de chapitre.

Ainsi, quand dans le guide des plans de prévention des risques, on définit le risque comme les « *pertes probables en vies humaines, en biens et en activités consécutives à la survenance d'un aléa naturel* » (MEDD, 1997), on retrouve bien la définition du risque mathématique à condition de remplacer « *pertes probables* » en « pertes vraisemblables » au sens statistique du terme.

De même, chez les industriels, on sera amené à calculer l'espérance mathématique des pertes, combinant, dans une somme, chaque perte (ou niveau de perte) estimée et la probabilité d'occurrence de cette perte.

$$R = \sum_i p_i g_i$$

avec : g_i : niveaux de perte et p_i probabilités d'occurrence des niveaux de perte g_i
Cette estimation est la plus vraisemblable au sens statistique du terme.

1.1.4. Risques « naturels » et risques « industriels »

En pratique, qu'il s'agisse d'accidents industriels ou de catastrophes naturelles, le calcul d'un risque mathématique est rare car difficile. Si les industriels s'en approchent avec l'utilisation des outils de la sûreté de fonctionnement (arbres de défaillances, arbres d'événements), l'évaluation du risque est souvent ramenée à un processus simplifié d'évaluations qualitatives croisant différentes grandeurs. En simplifiant à l'extrême ce processus, on rencontrera ainsi les expressions suivantes pour définir le risque :

- pour les risques industriels :

Risque = Probabilité x Gravité

- pour les risques naturels :

Risque = Aléa x Vulnérabilité

ou le risque résulte de la confrontation d'un aléa et d'enjeux[23]

Il est possible d'accorder ces définitions à condition de préciser les notions de probabilité, de gravité, d'aléa, de vulnérabilité et d'enjeux.

Dans l'évaluation des risques industriels, la probabilité est une probabilité stricte. C'est la probabilité que le phénomène considéré se produise. La gravité mesure alors l'intensité des conséquences dommageables de ce phénomène. Elle intègre donc implicitement l'intensité du phénomène considéré : plus le phénomène est intense, plus ses conséquences seront importantes.

Dans l'évaluation des risques naturels, on entend par aléa, la manifestation d'un phénomène naturel (débordements de rivières, glissements de terrains, séismes, avalanches, cyclones, éruptions volcaniques…). Il est caractérisé par sa probabilité d'occurrence (décennale, centennale,…) et l'intensité de sa manifestation (hauteur et vitesse de l'eau pour les crues, magnitude pour les séismes, largeur de bande pour les glissements de terrain,…). L'aléa intègre donc deux aspects différents : la probabilité d'occurrence du phénomène et son intensité. Par exemple, on parlera d'aléa fort pour un mouvement de terrain mobilisant une très grande masse même si la probabilité d'occurrence de ce mouvement est assez faible. Par contre, l'aléa sera relativement faible s'il correspondant à une faible masse mise en mouvement. Si à chaque niveau d'intensité de l'aléa, on peut associer une probabilité, on pourra envisager une estimation (la plus vraisemblable) de l'aléa sous la forme d'un calcul d'espérance mathématique. Quant à la vulnérabilité, si on la définit dans son acception la plus large comme « *le niveau des dommages prévisibles engendrés par le phénomène considéré* » (MEDD, 1997), elle traduit directement la gravité des conséquences potentielles du phénomène. Il s'agit alors d'une gravité stricte, qu'on peut envisager d'estimer pour chaque phénomène donné, d'intensité donnée.

On constate ainsi que dans le premier cas, l'intensité du phénomène apparaît implicitement dans l'estimation de la gravité des conséquences alors que dans le second cas, elle est intégrée à l'estimation de l'aléa.

[23] Extrait dossier risques majeurs MEDD.

Les définitions retenues dans l'étude sont les suivantes :

Aléa : ***phénomène potentiellement dangereux (qui peut engendrer des dommages) caractérisé par des probabilités d'occurrence associées à des niveaux d'intensité, pendant une période de temps donnée.***

Intensité : ***expression de l'agression d'un phénomène, évaluée ou mesurée par ses paramètres physiques. Elle intervient dans l'évaluation de l'aléa. Par exemple, pour le phénomène « affaissement », il peut s'agir de l'amplitude verticale du mouvement ou de la déformation maximale. Pour le phénomène « effondrement ou glissement de terrain », il peut s'agir du volume de matériau remanié.***

Lorsqu'il n'est pas possible d'évaluer ces paramètres physiques, on peut alors recourir à des méthodes indirectes, basées sur l'importance de leurs conséquences potentielles en termes d'endommagement ou de dangerosité ou de l'importance des parades théoriquement nécessaires pour annuler le risque.

Risque : ***Combinaison de l'aléa, de la vulnérabilité des enjeux et de leur valeur, représentée par une probabilité de perte (biens, personnes..) pendant une période de temps et dans une région donnée.***

1.2. LA VULNÉRABILITÉ, DES DÉFINITIONS

On trouve dans la littérature spécialisée plusieurs définitions possibles du concept de vulnérabilité.

Theys (1987) par exemple résume ainsi ce concept : « *la vulnérabilité mesure la capacité de systèmes interdépendants à fonctionner sans accroc en absorbant les perturbations extérieures, même les plus imprévisibles* » en soulignant à quel point le mot est chargé de sens puisqu'il évoque à la fois la dépendance directe ou indirecte, l'opacité, l'insécurité, la fragilité, l'ingouvernabilité, la centralité (situation névralgique dans un réseau), la potentialité de pertes ou la faible résilience.

Dans le cadre de la problématique des risques « naturels », elle est définie par l'estimation du « *niveau des dommages prévisibles engendrés par le phénomène considéré* » (MEDD, 1997).

Dans le « Glossaire international multilingue agréé de termes relatifs à la gestion des catastrophes naturelles » de l'IDNDR (1992), la vulnérabilité est définie comme le « degré de perte (de 0 % à 100 %) résultant d'un phénomène susceptible d'engendrer des victimes et des dommages matériels ».

L'échelle macrosismique européenne (EMS) 1998, utilise le terme vulnérabilité pour « exprimer les différences de réaction des bâtiments aux secousses sismiques ».

Ces différentes définitions renvoient à celle des dommages que l'on peut à leur tour définir comme les « conséquences économiques défavorables d'un phénomène naturel sur les biens, les activités et les personnes (guide PPR) » ou les « Dégâts,

préjudices subis par des personnes et/ou les biens internes ou externes » [Institut Européen de Cindyniques, 1993].

Elles renvoient aussi à la notion de perte, c'est-à-dire à l'association possible d'une perte physique associée à une perte de valeur.

Elles renvoient enfin à une capacité physique, mécanique, structurelle, organisationnelle des éléments ou des fonctions exposés, à résister aux sollicitations qu'ils subissent.

Le terme de vulnérabilité recouvre donc de nombreux concepts ce qui rend parfois difficile la compréhension de ce terme entre spécialistes de cultures différentes. Ceci est en particulier dû à l'utilisation qui en a été faite au moment où les notions de risque, d'aléa et d'enjeux exposés ou vulnérables ont été utilisés. Le terme vulnérabilité recouvrait alors la notion de dégâts, de pertes sur des biens ou des personnes. Aujourd'hui et notamment grâce aux développements du domaine sismique, on dissocie plus fréquemment les notions d'enjeux, de valeur, de vulnérabilité.

Le génie parasismique a ainsi largement développé le concept de vulnérabilité physique. À chaque bien physique est associée une vulnérabilité physique, définie comme une relation entre le taux d'endommagement du bien et la sollicitation sismique qu'il perçoit. Par exemple, différents types de bâti sont identifiés (maçonnerie, béton armé) et à chacun de ces types correspond une courbe ou un ensemble de courbes de vulnérabilité qui évalue le taux d'endommagement du bâti en fonction de l'intensité sismique ressentie.

Le BRGM a développé l'usage de la notion d'enjeu pour évaluer le risque, en la dissociant du concept de vulnérabilité.

L'enjeu est défini comme un élément exposé ayant une valeur qui peut être exprimée en termes financiers, mais aussi sur d'autres échelles de référence à laquelle est attachée une possibilité de perte ou de gain (Lutoff, 2000).

L'évaluation du risque repose, selon cette méthodologie, sur la définition suivante :

Risque = Aléa x Valeur des éléments exposés x Vulnérabilité de ceux-ci.

Comme pour la valeur des enjeux, pour lesquels la seule estimation financière est insuffisante, l'évaluation de la vulnérabilité physique ne suffit pas à évaluer le risque. Il doit y être associé l'analyse de la vulnérabilité fonctionnelle, économique, sociale, politique, environnementale de l'ensemble étudié.

Une autre approche qu'on rencontre de plus en plus souvent consiste à définir la vulnérabilité comme la propension d'un territoire, d'une organisation à subir des dommages. Cette approche renvoie à la sensibilité ou à la fragilité des biens, des individus et plus généralement des systèmes face à un événement. Mais elle renvoie également à la mesure de la capacité de ces biens, individus ou systèmes à résister à l'événement considéré. Dans cette approche, l'évaluation de la vulnérabilité passe généralement par la recherche d'indicateurs, qualitatifs ou quantitatifs de vulnérabilité.

Comme le signalent Hubert et Ledoux (1999) pour le cas des inondations, les réflexions récentes sur le concept de vulnérabilité sont fondées sur le constat qu'une mesure des dommages engendrés par une catastrophe naturelle ne peut se réduire à leur seul montant financier. Il apparaît rapidement en effet que ce moyen ne permet pas de cerner toutes les conséquences de la catastrophe et en particulier certains dommages indirects et les dommages intangibles. C'est ainsi que l'analyse de plusieurs facteurs de vulnérabilité (vulnérabilité intrinsèque, vulnérabilité liée à la gestion de crise et vulnérabilité liée à la gestion post-crise) permet d'envisager une estimation globale des dommages ou, tout au moins de définir « *une stratégie de réduction de la vulnérabilité et donc des dommages potentiels* ».

Définitions retenues :

Eléments exposés : ***population, constructions et ouvrages, milieux naturels exposés à un aléa.***

Enjeux : l***a notion d'enjeu recouvre une notion de valeur, ou d'importance, c'est pourquoi la définition ci-après est proposée : éléments exposés caractérisés par une valeur fonctionnelle, financière, économique, sociale et/ou politique*****.**

Vulnérabilité physique : ***aptitude d'un bien ou d'une activité à être plus ou moins affectés, en terme de perte ou d'endommagement, par la survenance d'un phénomène donné d'intensité donnée.***

Vulnérabilité sociale, économique, fonctionnelle : ***niveau des conséquences prévisibles d'un phénomène sur les enjeux en termes sociaux, économiques ou fonctionnels.***

ANNEXE 2

Inventaire des principales échelles de dommages

1.1. Risque industriel 168
1.2. Risque avalanche 174
1.3. Tornade, cyclone 175
1.4. Grêle 177
1.5. Météorologie 178
1.6. Météorites 181
1.7. Mouvements de terrain 181
1.8. Séismes 186
1.9. Tsunami 194
1.10. Volcanisme 196
1.11. Nucléaire 197
1.12. Échelles multialéas 197

	Nom de l'échelle*	Date de réalisation	Type d'échelle	Type d'aléa	Évaluation des dommages						Description des dommages	
					Aux personnes	Matériels			Aux ressources	Aux fonctions	Qualitative	Quantitative
							Infrastructures	Biens				
1	Soloviev	1970	E1	Tsunami	X	X	X	X	X		X	
2	Fujita Pearson	1971	E1	Tornade		X		X	X		X	
3	Saffir Simpson	1971	E1	Cyclone		X	X		X		X	
4	Torro	1972	E1	Grêle	X	X		X	X		X	
5	Murty	1986	E1	Tsunami	X	X	X	X	X		X	
6	Échelle d'avalanche canadienne	1990	E1	Avalanche	X	X		X	X		X	
7	BOM	1992	E1	Cyclone		X	X		X		X	
8	INES	1994	E1	Nucléaire	X			X	X	X	X	
9	Guide et Carte de Vigilance Météorologique (METEO-FRANCE, 2001)	2001	E1	Météo	X	X	X	X	X		X	
10	Échelle d'avalanche française	2002	E1	Avalanche	X	X		X	X		X	
11	Torino	2001	E1	Météorite	X	X	X	X	X		X	
12	Damage state	1973	ET	Séisme		X					X	
13	NCB classification of subsidence damages (NCB, 1975)	1975	ET	Mv.T.		X					X	
14	Classification des dégradations (Bruhn et al, 1982)	1982	ET	Mv.T.		X					X	
15	Classification des dégradations (Bhattacharya et al, 1984)	1984	ET	Mv.T.		X					X	
16	Classification des dégradations (Ji-Xian, 1985)	1985	ET	Mv.T.		X					X	
17	Landslide damage scale (Alexander, 1989)	1988	ET	Mv.T.		X					X	
18	Échelle des niveaux d'intensité DPP		ET	Mv.T.		X					X	
19	Classification des dégradations (Pellisier et al, 1992)	1992	ET	Mv.T.		X					X	
20	Endommagement du bâti (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.		X					X	
21	Endommagement des personnes (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.	X						X	
22	Endommagement des réseaux (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.			X				X	
23	Endommagement des fonctions (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.						X	X	
24	Endommagement des surfaces naturelles (Léone, 1996)	1996	ET	Mv.T.					X		X	
25	Classification des dégradations (Burland, 1997)	1997	ET	Mv.T.		X					X	
26	Hazus : Bâti (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme		X					X	
27	Hazus : Infrastructure (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme			X				X	
28	Hazus : Réseaux (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme			X				X	
29	Hazus : Personnes (F.E.M.A., 1999)	1999	ET	Séisme	X						X	
30	Classification des dommages au bâti en béton armé (EMS 98)	1998	ET	Séisme		X					X	
31	Classification des dommages au bâti en maçonnerie (EMS 98)	1998	ET	Séisme		X					X	
32	Landslides damage to buildings (N.H.R.C., 1999)	1999	ET	Mv.T.		X					X	
33	Rossi-Forel (Tiedemann, 1992)	1883	E2	Séisme		X					X	X
34	Mercalli Modifié	1931	E2	Séisme		X					X	X
35	JMA	1949	E2	Séisme		X					X	X
36	MSK (Sponheuer et al, 1964) remplacée par EMS 98	1964	E2	Séisme		X					X	X
37	Landsea	1992	E2	Cyclone								X
38	EMS98	1998	E2	Séisme		X					X	
39	D'intensité des phénomènes volcaniques (BRGM, 1998)	1998	E2	Volcan	X	X	X	X	X		X	X
40	De dommages liés aux tsunamis (Papadopoulos et al, 2001)	2002	E2	Tsunami	X	X	X	X	X		X	X
41	Gravité des phénomènes (préjudices humains) (MEDD)	1990	ED	Mv.T.	X							X
42	Gravité des accidents industriels (BARPI, 1993)	1993	ED	A. Ind.	X	X	X	X	X		X	X
43	Central Damage Value (Blong, 1999)	1999	ED	Divers		X					X	X
44	Échelle de gravité des dommages (MATE, 2002)	2001	ED	Divers	X	X	X	X	X			X
45	Échelle des catastrophes de Bradford (Keller, 1989)	1989	ED	Divers	X							X

- () les références bibliographiques dans lesquelles sont mentionnées les échelles
en vert les échelles utilisées principalement aux Etat-Unis,
en jaune les échelles utilisées principalement en Europe

Tabl. 39 - Liste des échelles de dommages étudiées.

Les échelles de dommages sont définies comme des échelles dans lesquelles les dommages causés par un phénomène sont identifiés et/ou évalués.

Les échelles décrivant seulement l'intensité d'un phénomène (telle l'échelle de Beaufort pour le vent), ne font pas partie des échelles présentées ici.

La liste des principales échelles de dommages est présentée dans le tableau ci-dessous, elles sont classées par phénomène et par ordre chronologique. Un n° de référence permet de les identifier.

De nombreuses échelles sont présentées en anglais. S'agissant d'un document de présentation de nos sources de travail, elles ont été laissées telles quelles afin de permettre au lecteur de bénéficier des sources originales.

L'une des importantes sources de cette annexe est le travail réalisé par GSC, « Détermination d'une échelle d'intensité en 5 niveaux par types d'aléa, Phase 1, état de l'art » pour le MEDD en 2002.

1.1. RISQUE INDUSTRIEL

Le texte ci-dessous est extrait du site internet « > http://aria.environnement.gouv.fr/ ».

1. Évolutions de l'échelle des accidents industriels depuis 1990

La première version de l'échelle a vu le jour en 1989. Il s'agissait, en fait, d'une échelle triple qui mesurait de façon indépendante le danger potentiel, les conséquences de l'accident et les moyens d'intervention mis en œuvre. Testée en 1990-91, elle n'a pas donné satisfaction sur les aspects suivants :

- *l'utilisation d'un système à trois indices portant sur des thèmes de nature différente (danger potentiel, conséquences, intervention) s'est révélée trop compliquée ;*
- *la répartition et les niveaux de gravité associés à certains critères présentaient des incohérences et entraînaient l'imbrication de conséquences réelles d'accidents et d'effets potentiels d'incidents, ce qui rendait l'interprétation malaisée ;*
- *la prise en compte de la quantité de produit dangereux potentiellement impliquée, et de l'efficacité des systèmes de prévention ou de protection présents était délicate. Elle introduisait une part de subjectivité particulièrement difficile à maîtriser.*

Une nouvelle échelle a été élaborée en 1993 par un groupe de travail dont le SEI/BARPI était rapporteur. Officialisée en février 1994 par le Comité des Autorités Compétentes des Etats membres pour l'application de la directive 82/501/CEE dite "Seveso I", elle a été jusqu'à présent peu utilisée. Par la suite, les critères de cette échelle ont été employés pour établir l'annexe VI de la directive SEVESO II qui fixe les obligations de notification de certains accidents par les Etats membres.

2. Les caractéristiques de l'échelle des accidents industriels de 1993

L'instrument de 1993 utilise un ensemble de critères objectifs quantifiés pour apprécier la gravité d'un accident sur la base de ses conséquences réelles. Il est conçu avant tout comme un outil de classification à l'usage des experts. Sa simplicité et son objectivité devaient lui permettre de répondre également aux besoins des média et du public en quête de repères sur la gravité des conséquences des accidents.

L'échelle des accidents industriels prend uniquement en considération les effets et les conséquences réels de l'accident en fonction de 18 paramètres techniques. Ces paramètres correspondent aux quantités de matières dangereuses en cause, aux conséquences sur l'homme, sur l'environnement et les biens. Elle a été échelonnée en fonction des accidents déjà observés par le passé. Le principe est le suivant : plus le niveau est élevé, plus l'événement doit être rare. Aussi la répartition des accidents par niveau de gravité suit-elle une exponentielle décroissante.

L'échelle comporte 6 niveaux afin d'évaluer les conséquences d'un accident. Un tableau de correspondance permet de déterminer les niveaux élémentaires de gravité atteint pour chacun des 18 paramètres techniques. Ce tableau est joint en annexe.

L'utilisation de l'échelle pour un accident donné aboutit à un seul indice, correspondant au niveau le plus élevé atteint par l'un quelconque des paramètres techniques pour lesquelles l'information est disponible.

4. Difficultés rencontrées dans l'utilisation de l'échelle des accidents industriels de 1993

Les principales difficultés rencontrées résident dans l'attribution d'un indice global recouvrant des conséquences de nature complètement différentes selon les accidents, alors que ces conséquences ne peuvent être directement comparées entre elles : décès, longueur de rivière polluée, atteintes à la faune, la flore, dégâts matériels, pertes d'exploitation …. Il en résulte souvent un dialogue difficile avec les médias ou les associations de victimes qui comprennent mal l'amalgame des différentes catégories de conséquences réalisé au sein d'un indice unique et opaque. D'aucuns en déduisent qu'une échelle de valeur entre les différents intérêts mis en jeu dans les accidents industriels a été sciemment établie.

Par exemple, l'indice de gravité de 1993 ne différencie pas dans son niveau 6 unique, les trois accidents suivants : TOULOUSE, qui a entraîné le décès de 30 personnes et plus de 5000 blessés, l'incendie du Crédit LYONNAIS au cours duquel 56 personnes ont été légèrement intoxiquées et le naufrage de l'ERIKA pour lequel aucun impact humain constaté. De même, les conséquences environnementales de la pollution qui a suivi le naufrage de l'ERIKA (300 000 oiseaux et 150 ha de parc à huîtres touchés, les côtes du Finistère, du Morbihan, de la Loire Atlantique, de la Vendée et des Charentes Maritimes ont été atteintes) ne peuvent être comparées aux deux autres accidents cités. Quant aux conséquences économiques, elles sont pour les 3 accidents d'un niveau très important (AZF : 15 000 MF, ERIKA : 1 200 MF, Crédit Lyonnais : 1 956 MF).

5. Proposition de présentation de l'indice de gravité soumise à la consultation

L'objectif des premières propositions établies en 2002 était de permettre une utilisation plus fréquente par les exploitants, les organisations professionnelles, les experts, l'inspection, les salariés, les élus, voire une communication plus efficace à destination des associations, médias et du public. Au-delà des questions de présentation, la finalité de l'échelle est de disposer d'une référence permettant de relativiser les évènements les uns par rapport aux autres sur la base de l'appréciation objective des conséquences.

Pour décrire un accident la proposition initiale consistait à substituer l'indice global actuel de gravité par quatre indices correspondants à des groupes homogènes de conséquences :

- *1° conséquences humaines et sociales ;*
- *2° conséquences environnementales ;*
- *3° conséquences économiques ;*
- *4° quantités de matières dangereuses relâchées.*

Sans changer le mode de cotation, les dix-huit paramètres de l'échelle actuelle sont agrégés conformément au tableau en annexe selon ces quatre groupes distincts correspondant à quatre indices affectés chacun d'un niveau de un à six pour caractériser un accident.

Proposition de présentation de la gravité des conséquences en quatre indices

AZF Toulouse	**ERIKA**	**Incendie Crédit Lyonnais**
Humaine : 6	Humaine : 0	Humaine : 1
Environnementale : 1	Environnementale : 6	Environnementale : 0
Economique : 6	Economique : 6	Economique : 6
matière dangereuse : 4	matière dangereuse : 4	matière dangereuse : 0

La présentation de la gravité des accidents sur une échelle affichant 4 indices était destinée à permettre une compréhension plus directe par l'affichage de la nature des conséquences. En outre le dernier indice permettait la prise en considération des accidents mettant en cause le relâchement de quantités de matières dangereuses, mais dont les conséquences sont inconnues ou restent négligeables dans des circonstances particulières (direction du vent, absence de point chaud, éloignement de l'habitat…).

6. Consultations menées - analyse

Ces propositions ont été soumises à la consultation d'une part de l'inspection des installations classées et d'autre part d'un ensemble plus large d'organismes et entités.

Une synthèse des remarques générales est présentée ci-après. Elles ont été distinguées en trois catégories :

- *celles qui concernent la présentation des indices de gravité proposés ;*
- *celles qui relatives à leur utilisation ;*
- *et enfin celles relatives à la pertinence des 18 paramètres techniques qui composent l'échelle.*

6.1. remarques relatives à la présentation des indices de gravité

Tout d'abord, il convient de noter que la quasi-totalité des avis enregistrés s'expriment en faveur de la décomposition de l'indice unique de gravité en trois ou quatre indices qui confèrent sous une forme condensée une meilleure lisibilité de la nature des conséquences des accidents.

Des remarques ont été formulées sur la pertinence de retenir un indice relatif aux matières dangereuses. Plusieurs entités considèrent que les paramètres relatifs aux matières dangereuses relâchées caractérisent plutôt l'événement amont que ses conséquences et proposent d'exclure cet indice. D'autres ont proposé d'agréger l'indice matières dangereuses avec l'indice des conséquences environnementales, d'autres enfin ont considéré que l'indice matières dangereuses permettait de coter les « presque accidents ».

6.2. Remarques relatives à l'utilisation de l'échelle

La majorité des entités consultées reconnaît que les indices relatifs aux dimensions humaines, sociales, environnementales et économiques permettent de caractériser plus objectivement les conséquences des accidents pour les situer ou les hiérarchiser les uns par rapport aux autres.

Plusieurs organismes professionnels insistent sur l'utilité d'une mise en garde contre les tentations d'agrégation des trois ou quatre indices retenus en un seul indice ainsi que sur les velléités de comparer des accidents dont les profils sont différents. Cette suggestion paraît pertinente.

D'aucuns ont noté que, dans certains cas, l'indication de la nature des conséquences concrètes de l'accident (morts, blessés, mortalité de poissons, dommages…) est plus « parlante » que l'indice chiffré correspondant. Bien entendu, l'utilisation des indices synthétiques n'exclut pas une communication plus détaillée sur les conséquences concrètes, chaque type de données ayant son intérêt propre

L'échelle n'est probablement pas le meilleur outil à utiliser en situation d'urgence puisqu'elle est fondée sur la caractérisation objective des conséquences laquelle nécessite un délai d'enquête.

S'est aussi posée la question de l'entité en charge du classement de l'accident. Cette question se décompose en deux parties. Elle suppose d'abord que les informations techniques sur les conséquences soient disponibles. Le rôle de l'enquête menée sur le terrain par les acteurs locaux est essentiel à ce sujet : investigations de l'exploitant sous le contrôle des autorités concernées (inspection des IC notamment). Ensuite, en fonction de la disponibilité de ces informations le classement de l'événement peut être établi de manière univoque par l'exploitant sous le contrôle de l'administration, puis au besoin ajusté ultérieurement selon d'éventuelles informations nouvelles. C'est l'administration qui enregistre le classement officiel.

6.3. Principaux avis sur la pertinence des 18 paramètres officiels qui composent l'échelle

Une analyse des principales remarques enregistrées sur la pertinence des 18 paramètres officiels est proposée ci-après.

Malgré de légitimes soucis de simplification, les différentes natures de sinistres susceptibles d'affecter les secteurs d'activités concernés (IC industrielles et agricoles, TMD…) eux-mêmes fort différents apportent des limitations évidentes à la simplification de l'échelle.

L'inspection se sent parfois redevable vis à vis des médias d'une information produite rapidement sur le niveau de gravité d'un accident. Certains semblent en déduire que les différents paramètres qui caractérisent les conséquences des accidents doivent être facilement et rapidement réunis.

La production quasi instantanée d'un indice de gravité définitif d'un accident ne constitue probablement pas un objectif de communication prioritaire dans les cas où les conséquences techniques de l'accident ne sont pas « caractérisables » sans investigations particulières (rapidité ν objectivité ν efficacité).

Après un accident l'urgence des investigations doit être guidée par la mise en œuvre des éventuelles mesures conservatoires nécessaires pour limiter les conséquences et éviter les « sur-accidents » éventuellement possibles. Au-delà des mesures conservatoires et indépendamment de la question de l'indice de gravité, l'Etat peut aussi avoir pour priorité la mission d'information sur le nombre et l'état des victimes.

Le système de cotation actuel accorde une importance différente pour la comptabilisation des morts ou blessés en fonction du statut des victimes. Certains ont proposé de ne plus différencier la cotation des victimes. Aux yeux des familles des victimes, la « valeur » d'une personne décédée ou blessée n'est pas différenciée selon qu'il s'agit d'employé, de sauveteur ou de particulier. Pour le public, les médias et l'administration, la distinction s'est fortement atténuée au cours des dernières décennies. Pour le technicien, cette différenciation donne une indication implicite de l'extension ou non des effets du sinistre au-delà des limites de l'installation. Une simplification du système actuel pourrait éventuellement être envisagée en évitant de distinguer le statut des victimes, mais la directive SEVESO prévoit une différenciation.

Le critère économique est apparu choquant à certains en ce qu'il pouvait altérer ou atténuer la perception des conséquences humaines ou environnementales. C'est cependant un moyen de caractériser les accidents lorsqu'il n'y a pas de conséquences environnementales et humaines. L'évaluation financière des dommages internes et externes peut permettre de compléter la caractérisation des conséquences (cf. 2 000 M□ de la catastrophe de Toulouse) et fournir des éléments d'appréciation pour relativiser le coût des investissements de prévention. Des organisations professionnelles ont souligné que l'exploitant n'a pas la maîtrise de ce qui se passe à l'extérieur de son site et qu'il ne fallait pas opposer l'évaluation des dommages externes aux investissements de prévention du site.

Les organisations agricoles se sont interrogées sur la prise en considération des pertes de produits agricoles, sur les pertes de marché et plus généralement sur l'ensemble des pertes indirectes. Les dommages aux propriétés et les pertes de production à l'extérieur de l'établissement à l'origine de l'accident ont vocation à être comptabilisées. L'évaluation de la perte de marché d'une entreprise qui a subi un préjudice semble être réalisée par les tribunaux civils en fonction de la valeur locale de cette entreprise avant et après l'accident.

On pourrait s'interroger sur le maintien de certains paramètres rarement voire jamais utilisés dans le classement des accidents. Par exemple, la proportion d'espèces animales ou végétales rares ou protégées détruites n'est pratiquement jamais connue. Cette suppression n'aurait aucune conséquence dans la définition du niveau de gravité. En revanche le maintien de cette rubrique parmi les paramètres à porter à la connaissance des enquêteurs peut contribuer à mieux appréhender ce type d'information actuellement souvent laissé dans l'ombre lors des enquêtes.

7. Nouvelle proposition de présentation de la cotation des accidents à l'issue des consultations

Sans préjudice des discussions multilatérales à mener à l'échelon européen pour l'évolution de l'échelle de gravité (et des paramètres qui la composent) officialisée en février 1994 par le Comité des Autorités Compétentes, le BARPI, à ce stade, est en mesure de formuler la proposition suivante pour améliorer sa présentation :

- *séparer nettement l'indice relatif aux quantités de matières dangereuses de ceux relatifs aux conséquences de l'accident,*
- *constituer trois indices distincts pour les conséquences /humaines et sociales / environnementales / économiques.*

Afin de faciliter l'appropriation par les différentes entités intéressées et sans préjuger des évolutions graphiques ultérieures l'affichage des intitulés pourraient être mentionnés in extenso. ».

	1	2	3	4	5	6
Quantités de matières dangereuses						
Quantité Q de substance effectivement perdue ou rejeté par rapport au seuil « SEVESO »	Q<0.1%	0,1≤Q<1%	1≤Q<10%	10%≤Q<100%	De 1 à 10 fois le seuil	≥10 fois le seuil
Quantité Q de substance explosive ayant effectivement participé à l'explosion (en équivalent TNT)	Q<0.1t	0,1≤Q<1t	1≤Q<5t	5≤Q<50t	5≤Q<500t	Q≥500t
Conséquences humaines						
Nombre total de morts dont : - employés - sauveteurs extérieurs - personnes du Public	- - - -	1 1 - -	2 - 5 2 - 5 1 -	6 - 19 6 - 19 2 - 5 1	20 - 49 20 - 49 6 - 19 2 - 5	≥ 50 ≥ 50 ≥ 20 ≥ 6
Nombre total de blessés avec hospitalisation de durée ≥ 24 h dont : - employés - sauveteurs extérieurs - personnes du Public	1 1 1 -	2 - 5 2 - 5 2 - 5 -	6 - 19 6 - 19 6 - 19 1 - 5	20 - 49 20 - 49 20 - 49 6 - 19	50 - 199 50 - 199 50 - 199 20 - 49	≥ 200 ≥ 200 ≥ 200 ≥ 50
Nombre total de blessés légers soignés sur place ou avec hospitalisation de durée <24h dont : - employés - sauveteurs extérieurs - personnes du Public	1 - 5 1 - 5 1 - 5 -	6 - 19 6 - 19 6 - 19 1 - 5	20 - 49 20 - 49 20 - 49 6 - 19	50 - 199 50 - 199 50 - 199 20 - 49	200 - 999 200 - 999 200 - 999 50 - 199	≥ 1000 ≥ 1000 ≥ 1000 ≥ 200
Nombre de tiers sans abris ou dans l'incapacité de travailler en raison de dommages matériels à des bâtiments hors établissement	-	1 - 5	6 - 19	20 99	100 499	≥ 500
Nombre N des riverains évacués ou confinés chez eux pendant plus de 2 heures x nbre d'heures.	-	N<500	500≤N< 5000	5000≤N< 50000	50000≤N < 500000	N ≥ 500000
Nombre N de personnes privées d'eau potable, électricité, gaz, téléphone, transports publics pendant plus de 2 heures x nbre d'heures.	-	N<1000	1000≤N< 10000	10000≤N< 1000000	100000 ≤ N <1 million	N ≥ 1 million
Nombre N de personnes devant faire l'objet d'une surveillance médicale prolongée (≥ 3 mois après l'accident)	-	N < 10	10 ≤ N < 50	50 ≤ N < 200	200 ≤ N < 1000	N ≥ 1000
Conséquences environnementales						
Quantité d'animaux sauvages tués, blessés ou rendus impropres à la consommation humaine (en tonnes)	Q < 0.1t	0,1 ≤ Q <1t	1 ≤ Q < 10t	10 ≤ Q < 50t	50 ≤ Q < 200t	Q ≥ 200t
Proportion P d'espèces animales ou végétales rares ou protégées détruites (ou éliminées par dommage au biotope) dans la zone affecté par l'accident	P < 0.1%	0,1 ≤ P < 0,5%	0,5 ≤ P < 2%	2 ≤ P < 10%	10 ≤ P < 50%	P ≥ 50%
Volume V d'eau polluée (m^3)	V < 1000	1000 ≤ V	10000 ≤ V	100000 ≤ V	1000000 ≤ V	V ≥ 10Mm^3
Surface S de sol ou de nappe d'eau souterraine nécessitant un nettoyage ou une décontamination spécifique (ha)	0,1 ≤ S < 0,5	0,5 ≤ S < 2	2 ≤ S <10	10 ≤ S < 50	50 ≤ S < 200	S ≥ 200
Longueur L de berge ou de voie d'eau nécessitant un nettoyage ou une décontamination spécifique (km)	0,1 ≤ L < 0,5	0,5 ≤ L < 2	2 ≤ L < 10	10 ≤ L < 50	50 ≤ L < 200	L ≥ 200
Conséquences économiques						
Dommages matériels dans l'établissement (exprimées en valeur C de référence 1993), M€	0,1 ≤ C < 0,5	0,5 ≤ C < 2	2 ≤ C < 10	10 ≤ C < 50	50 ≤ C < 200	C ≥ 200
Pertes de production de l'établissement (exprimées en valeur C de référence 1993), M€	0,1 ≤ C < 0,5	0,5 ≤ C < 2	2 ≤ C < 10	10 ≤ C < 50	50 ≤ C < 200	C ≥ 200
Dommages aux propriétés ou pertes de production à l'extérieur de l'établissement (exprimés en valeur C de référence 1993), M€	-	0,05 ≤ C < 0,1	0,1 ≤ C < 0,5	0,5 ≤ C < 2	2 ≤ C < 10	C ≥ 10
Coût des mesures de nettoyage, décontamination ou réhabilitation de l'environnement (exprimés en valeur C de référence 1993), M€	0,01 ≤ C < 0,05	0,05 ≤ C < 0,2	0,2 ≤ C < 1	1 ≤ C < 5	5 ≤ C < 20	C ≥ 20

Tabl. 40 - (42) Échelle de risque industriel[24].

[24] BARPI (1993) - Échelle de gravité des accidents industriels. Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles, Ministère chargé de l'Environnement, Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques, Service de l'Environnement Industriel. Édition Binome.

1.2. RISQUE AVALANCHE

Les deux échelles, l'échelle canadienne et l'échelle météo sont très différentes : la première décrit, à partir de dommages, l'intensité d'un phénomène, la seconde, à partir de l'intensité et de la fréquence d'occurrence d'événements, fournit des conseils de comportement.

Il existe plusieurs échelles du type de l'échelle canadienne. Elles ne sont pas toutes citées ici car leur objet est plus d'évaluer l'intensité d'un phénomène que de décrire des dommages.

Taille	Critères descriptifs	Masse typique en tonne	Longueur typique d'écoulement en m	Pressions typiques d'impact en kPa
1	Relativement anodine sur les gens	<10	10	1
2	Pourrait enterrer, blesser ou tuer une personne	100	100	10
3	Pourrait enterrer une voiture, détruire une petite construction, ou casser quelques arbres	1 000	1 000	100
4	Pourrait détruire un wagon, un gros camion, plusieurs constructions, ou une forêt de plus de 4 ha	10 000	2 000	500
5	Plus grandes avalanches connues. Pourrait détruire un village ou une forêt de 40 ha	100 000	3 000	1 000

Tabl. 41 - (6) Échelle canadienne d'avalanche.

Cette échelle est établie (en 1990) à partir de valeurs caractéristiques des avalanches, comme leur masse, leur longueur d'écoulement et la pression d'impact. Elle mentionne des types d'endommagements possibles. L'échelle française du CEMAGREF doit également être mentionnée car elle représente une synthèse des échelles d'intensité existantes.

AVALANCHES	
CONSEQUENCES POSSIBLES	**CONSEILS DE COMPORTEMENT**
Très fort risque d'avalanche. Nombreux départs spontanés d'avalanche.	Informez vous sur l'ouverture et l'état des secteurs routiers d'altitude. Conformez vous aux instructions et consignes de sécurité en vigueur dans les stations de ski et communes de montagne. Renseignez vous en consultant les bulletins spécialisés de Météo France, les informations locales et les professionnels de la montagne.
AVALANCHES	
CONSEQUENCES POSSIBLES	**CONSEILS DE COMPORTEMENT**
Très fort risque d'avalanche. Nombreux départs spontanés d'avalanche d'ampleur exceptionnelle.	Evitez, sauf urgence, tout déplacement sur les secteurs routiers d'altitude. Renseignez vous auprès de la préfecture du département concerné. Conformez vous strictement aux mesures d'interdictions et consignes de sécurité qui sont mises en œuvre dans les stations de ski et communes de montagne.

Tabl. 42 - (9) Échelle météo de risque d'avalanche[25].

[25] METEO-FRANCE (2001) - Guide et carte de vigilance. http://www.meteo.fr/meteonet/vigilance/

1.3. TORNADE, CYCLONE

Tornade

Echelle à trois chiffres pour les tornades, établie par Fujita (échelle F), pour indiquer l'intensité de la tornade. Cette échelle est très populaire aux États-Unis.

Niveau d'intensité	Qualification	Description des dommages potentiels	
F_0	Léger	Antennes de télévisions tordues ; Quelques dommages aux cheminées ; Petites branches d'arbres cassées.	
F_1	Modéré	Caravanes renversées ; Automobiles déviées ; Arbres déracinés.	
F_2	Considérable	Murs des maisons détruits ; Beaucoup d'arbres déracinés ; Trains pouvant être renversés.	
F_3	Sévère	Toitures soulevées ; Structures légères brisées ; Petits objets transformés en projectiles.	
F_4	Dévastateur	Maisons solidement construites rasées ; Arbres emportés ; Voitures poussées.	
F_5	Incroyable	Envol de grosses structures ; Voitures détruites ; Tout est emporté.	

Tabl. 43 - (2) Échelle de Fujita Pearson.

Cyclone

Les deux premières échelles indiquent le niveau d'endommagement que les éléments exposés peuvent subir en fonction de l'intensité physique du phénomène.

Par contre, l'échelle Landsea classe les dommages en fonction de leur coût.

L'échelle de Saffir Simpson est employée pour donner une évaluation des dégâts matériels et de l'élévation potentielle du niveau de la mer le long de la côte.

Scale	Winds [km/h]	Pressure [hPa]	Description
1	119-153	>980	Damage primarily to shrubbery, trees, foliage and unanchored mobile homes. No real damage to other structures. Some damage to poorly constructed signs. Low-lying coastal roads inundated, minor pier damage, some small craft torn from moorings in exposed anchorage
2	154-178	965-979	Considerable damage to shrubbery and tree foliage; some trees blown down. Major damage to exposed mobile homes. Extensive damage to poorly constructed signs. Some damage to roofing materials of buildings; some window and door damage. No major damage to buildings. Coastal roads and low-lying escape routes inland cut by rising water 2 to 4 hours before arrival of hurricane centre. Considerable damage to piers; marinas flooded. Small craft torn from moorings in unprotected anchorages. Evacuation of some shoreline residences and low-lying island areas required.
3	179-209	945-964	Foliage torn from trees; large trees blown down. Practically all poorly constructed signs blown down. Some damage to roofing materials of buildings; some window and door damage. Some structural damage to small buildings. Mobile homes destroyed. Serious flooding at coast; many smaller structures near coast destroyed; larger structures near coast damaged by battering waves and floating debris.. Low-lying escape routes inland cut by rising water 3 to 5 hours before hurricane centre arrives. Flat terrain 1.5 m or less asl flooded inland ~13 km or more. Evacuation of low-lying residences within several blocks of shoreline possibly required.
4	211-249	920-944	Shrubs and trees blown down; all signs down. Extensive damage to roofing materials, windows and doors. Complete failure of roofs on many small residences. Complete destruction of mobile homes. Flat terrain ~3 m or less asl flooded inland as far as ~10 km. Major damage to lower floors of structures near shore due to flooding and battering by waves and floating debris. Low-lying escape routes inland cut by rising water 3 to 5 hours before hurricane centre arrives. Major erosion of beaches. Massive evacuation of all residences within ~455 m of shore possibly required, and evacuation of single-story residences on low ground within ~3 km of shore required.
5	>249	<920	Shrubs and trees blown down; considerable damage to roofs of buildings; all signs down. Very severe and extensive damage to windows and doors. Complete failure of roofs on many residences and industrial buildings; extensive shattering of glass in windows and doors. Some complete building failures. Small buildings overturned or blown away. Complete destruction of mobile homes. Major damage to lower floors of all structures less than ~4.5 m asl within ~455 m of shore. Low-lying escape routes inland cut by rising water 3 to 5 hours before hurricane centre arrives. Massive evacuation of residential areas on low ground within ~8 to 16 km of shore possibly required.

Tabl. 44 - (3) Échelle Saffir-Simpson.[26]

L'échelle de BOM a été réalisée par le Bureau de Météorologie australien (BOM).

Category	Strongest gust [km/h]	Description of typical effects
1	<125	Negligible house damage. Damage to some crops, trees and caravans. Craft may drag moorings
2	125-169	Minor house damage. Significant damage to signs, trees and caravans. Heavy damage to some crops. Risk of power failure. Small craft may break moorings.
3	170-224	Some roof and structural damage. Some caravans destroyed. Power failure likely.
4	225-279	Significant roofing loss and structural damage. Many caravans destroyed and blown away. Dangerous airborne debris. Widespread power failure.
5	>280	Extremely dangerous with widespread destruction

Tabl. 45 - (7) Bom.[27]

[26] Simpson R.H. & Riehl H. (1981) - The Hurricane and its impact. Louisiana State University Press, Baton Rouge, La.

[27] Crowder, 1995 ; Phil Alford, BoM, pers. comm. 15/5/98. http://www.bom.gov.au/info/cyclone.

Landsea a analysé les dégâts causés par différentes tempêtes tropicales et cyclones, en corrigeant les résultats en fonction de la population exposée et de l'inflation. Les dégâts dus aux cyclones de 1944 à 1990 ont été évalués pour un $ 1990. Les résultats des recherches produisent l'échelle ci-dessous, selon laquelle l'impact des cyclones est évalué de façon exponentielle.

Intensité	Nb de cas	Médiane des dommages	Dégâts potentiels
Tempête tropicale ou subtropicale	75	Moins de $1 000 000	0
Cyclone catégorie 1	34	$24 000 000	1
Cyclone catégorie 2	14	$218 000 000	10
Cyclone catégorie 3	24	$1 108 000 000	50
Cyclone catégorie 4	6	$2 274 000 000	100
Cyclone catégorie 5	1	$5 933 000 000	250

Tabl. 46 - (37) Echelle Landsea.[28]

1.4. GRÊLE

Cette échelle a été introduite par Jonathan Webb, pour classer les dommages des orages de grêle. Torro (Tornado and Storme Research Organsiation) est un organisme de recherche basé en Grande Bretagne. Dans cette échelle, à partir du phénomène physique représenté par la dimension des grêlons, le niveau d'endommagement est évalué.

Intensity	Size Code	Description
H0	1	True hail of pea size but no damage
H1	1-3	Leaves holed; flower petals cut
H2	1-4	Leaves stripped from trees and plants; vegetables, fruit and crops bruised and scarred; vegetable leaves shredded
H3	2-5	A few panes in glasshouses, cloches and/or skylights broken; wood fences scored; paint scraped off window ledges; caravan body work dented; perspex roofing holed; canvas [e.g. tents] torn; stems of crops severed and seeds threshed; fruit sliced/split.
H4	3-6	Some house windows and/or vehicle windscreens broken/cracked; glasshouses extensively damaged; some felt roofs pierced; paint scraped off walls and vehicles; some thin car bodywork visibly dented; small branches broken from trees; unprotected birds and poultry killed; firm ground pitted.
H5	4-7	Some roof slates and potter-type tiles broken; many windows smashed; plate-glass roofs and reinforced glass windows broken; bodywork of most exposed cars visibly pitted; bodywork of light aircraft pitted; risk of serious or fatal injuries to small animals; strips of bark torn from trees; woodwork pitted and splintered; large branches cut from trees.
H6	5-8	Many roof slates and tiles [except concrete tiles] broken; shingle and thatch roofs breached; corrugated iron and some sheet metal roofs scored and a few holed; brick walls slightly pitted; wooden window frames broken away.
H7	6-9	Slated, shingle and many tiled roofs shattered, exposing rafters; metal roofing punctured; brick and stone walls pitted; metal window frames broken away; bodywork of cars and light aircraft seriously/irreparably damaged
H8	7-10	Concrete roof tiles cracked; sheet metal, slate, shingle, and other tiled roofs destroyed. Pavements pitted; bodywork of commercial aircraft seriously damaged; small tree trunks split apart; risk of serious injury to people caught in the open.
H9	8-10	Concrete walls pitted; concrete roof tiles widely broken; walls of wooden houses completely holed; large tree trunks cut down; risk of fatal injury to persons caught in the open.
H10	9-10	Wooden houses destroyed; brick-built houses very severely damaged; risk of fatal injury to unprotected persons.

Tabl. 47 - (4) Echelle de Torro.[29]

[28] Cité par Guillande R. (2001) - Détermination d'une échelle d'intensité en 5 niveaux par types d'aléas. Rapport soumis au MEDD. GSC, Dpt risques naturels, Paris. N° du marché : 0110043002377501.

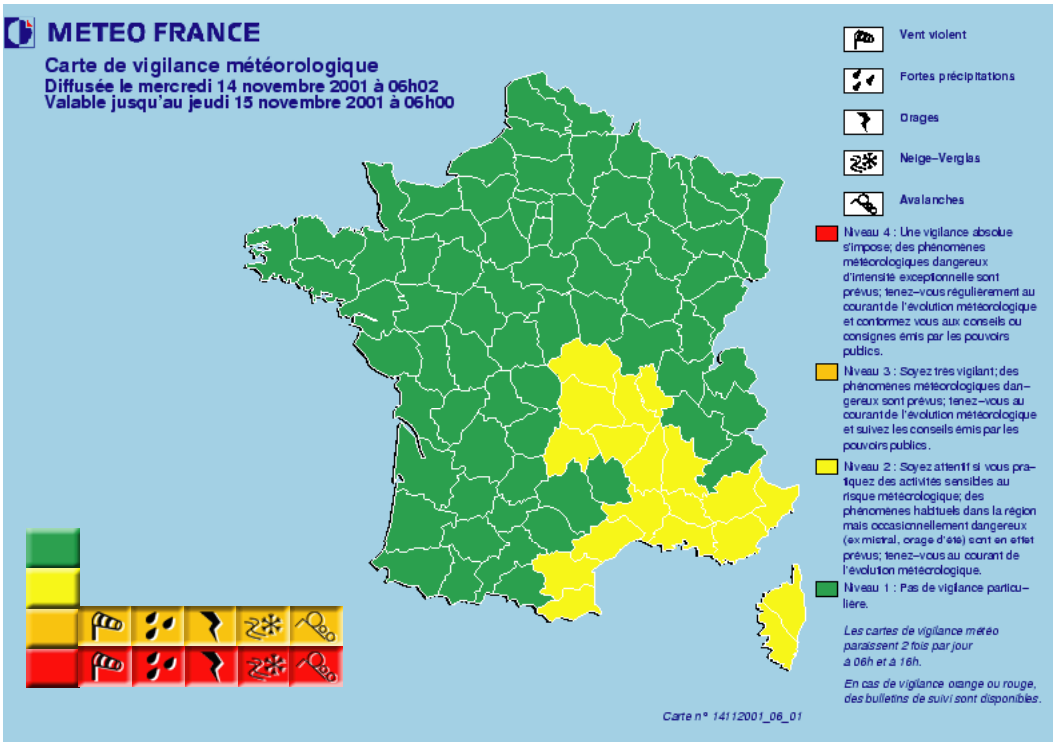
[29] NHRC (1999) - Risk Fontiers Damage Scales Macquarie University New South Wales 2109, Australia. http://www.es.mq.edu.au/NHRC/web/scales/scalespage12.htm.

1.5. MÉTÉOROLOGIE

Seule l'échelle de vigilance est présentée ici. Cette échelle a été réalisée en 2001.

La Vigilance météorologique est destinée à informer tous les Français, particuliers ou professionnels, sous une forme simple et claire. Elle est aussi destinée aux pouvoirs publics en charge de la sécurité civile, qui alertent et mobilisent les équipes d'intervention de la protection civile. Elle remplace le système d'alerte en vigueur depuis 1993 spécifiquement conçu pour la protection civile.

Elle fournit, à partir de l'intensité d'un phénomène (la pluie par exemple), la description de phénomènes dangereux (des inondations par exemple), leur possible situation géographique, leurs conséquences, les dysfonctionnements que cela peut entraîner (coupures de routes, d'électricité) et donne des indications sur la conduite à tenir.


METEO FRANCE
Carte de vigilance météorologique
Diffusée le mercredi 14 novembre 2001 à 06h02
Valable jusqu'au jeudi 15 novembre 2001 à 06h00
Vent violent
Fortes précipitations
Orages
Neige–Verglas
Avalanches
Niveau 4 : Une vigilance absolue s'impose; des phénomènes météorologiques dangereux d'intensité exceptionnelle sont prévus; tenez–vous régulièrement au courant de l'évolution météorologique et conformez vous aux conseils ou consignes émis par les pouvoirs publics.
Niveau 3 : Soyez très vigilant; des phénomènes météorologiques dangereux sont prévus; tenez–vous au courant de l'évolution météorologique et suivez les conseils émis par les pouvoirs publics.
Niveau 2 : Soyez attentif si vous pratiquez des activités sensibles au risque météorologique; des phénomènes habituels dans la région mais occasionnellement dangereux (ex mistral, orage d'été) sont en effet prévus; tenez–vous au courant de l'évolution météorologique.
Niveau 1 : Pas de vigilance particulière.
Les cartes de vigilance météo paraissent 2 fois par jour à 06h et à 16h.
En cas de vigilance orange ou rouge, des bulletins de suivi sont disponibles.
Carte n° 14112001_06_01

Les tableaux suivants présentent les conséquences possibles ainsi que les conseils de comportement propre à chaque type d'événement comme ils apparaissent dans le bulletin de suivi propre au guide, quand la zone en question est orange ou rouge.

VENT VIOLENT	
CONSEQUENCES POSSIBLES	**CONSEILS DE COMPORTEMENT**
Des coupures d'électricité et de téléphone peuvent affecter les réseaux de distribution pendant des durées relativement importantes. Les toitures et les cheminées peuvent être endommagées. Des branches d'arbre risquent de se rompre. Les véhicules peuvent être déportés. La circulation routière peut être perturbée, en particulier sur le réseau secondaire en zone forestière. Le fonctionnement des infrastructures des stations de ski est perturbé.	Limitez vos déplacements. Limitez votre vitesse sur route et autoroute, en particulier si vous conduisez un véhicule ou attelage sensible aux effets du vent. Ne vous promenez pas en forêt [et sur le littoral]. En ville, soyez vigilants face aux chutes possibles d'objets divers. N'intervenez pas sur les toitures et ne touchez en aucun cas à des fils électriques tombés au sol. Rangez ou fixez les objets sensibles aux effets du vent ou susceptibles d'être endommagés.
FORTES PRECIPITATIONS	
CONSEQUENCES POSSIBLES	**CONSEILS DE COMPORTEMENT**
De fortes précipitations susceptibles d'affecter les activités humaines sont attendues. Des inondations importantes sont possibles dans les zones habituellement inondables, sur l'ensemble des bassins hydrologiques des départements concernés. Des cumuls importants de précipitation sur de courtes durées, peuvent, localement, provoquer des crues inhabituelles de ruisseaux et fossés. Risque de débordement des réseaux d'assainissement. Les conditions de circulation routière peuvent être rendues difficiles sur l'ensemble du réseau secondaire et quelques perturbations peuvent affecter les transports ferroviaires en dehors du réseau « grandes lignes ». Des coupures d'électricité peuvent se produire.	Renseignez-vous avant d'entreprendre vos déplacements et soyez très prudents. Respectez, en particulier, les déviations mises en place. Ne vous engagez en aucun cas, à pied ou en voiture, sur une voie immergée. Dans les zones habituellement inondables, mettez en sécurité vos biens susceptibles d'être endommagés et surveillez la montée des eaux.
ORAGES	
CONSEQUENCES POSSIBLES	**CONSEILS DE COMPORTEMENT**
Violents orages susceptibles de provoquer localement des dégâts importants. Des dégâts importants sont localement à craindre sur l'habitat léger et les installations provisoires. Des inondations de caves et points bas peuvent se produire très rapidement. Quelques départs de feux peuvent être enregistrés en forêt suite à des impacts de foudre non accompagnés de précipitations.	A l'approche d'un orage, prenez les précautions d'usage pour mettre à l'abri les objets sensibles au vent. Ne vous abritez pas sous les arbres. Evitez les promenades en forêts et les sorties en montagne. Evitez d'utiliser le téléphone et les appareils électriques. Signalez sans attendre les départs de feux dont vous pourriez être témoins.
NEIGE - VERGLAS	
CONSEQUENCES POSSIBLES	**CONSEILS DE COMPORTEMENT**
Des chutes de neige ou du verglas, dans des proportions importantes pour la région, sont attendus. Les conditions de circulation peuvent devenir rapidement très difficiles sur l'ensemble du réseau, tout particulièrement en secteur forestier où des chutes d'arbres peuvent accentuer les difficultés. Les risques d'accident sont accrus. Quelques dégâts peuvent affecter les réseaux de distribution d'électricité et de téléphone.	Soyez prudents et vigilants si vous devez absolument vous déplacer. Privilégiez les transports en commun. Renseignez-vous sur les conditions de circulation auprès du centre régional d'information et de circulation routière (CRICR). Préparez votre déplacement et votre itinéraire. Respectez les restrictions de circulation et déviations mises en place. Facilitez le passage des engins de dégagement des routes et autoroutes, en particulier en stationnant votre véhicule en dehors des voies de circulation. Protégez-vous des chutes et protégez les autres en dégageant la neige et en salant les trottoirs devant votre domicile, tout en évitant d'obstruer les regards d'écoulement des eaux. Ne touchez en aucun cas à des fils électriques tombés au sol.
AVALANCHES	
CONSEQUENCES POSSIBLES	**CONSEILS DE COMPORTEMENT**
Très fort risque d'avalanche. Nombreux départs spontanés d'avalanche.	Informez vous sur l'ouverture et l'état des secteurs routiers d'altitude. Conformez vous aux instructions et consignes de sécurité en vigueur dans les stations de ski et communes de montagne. Renseignez vous en consultant les bulletins spécialisés de Météo France, les informations locales et les professionnels de la montagne.

Les conseils de comportement et les conséquences possibles propre à la couleur orange.

VENT VIOLENT	
CONSEQUENCES POSSIBLES	**CONSEILS DE COMPORTEMENT**
Avis de tempête très violente Des coupures d'électricité et de téléphone peuvent affecter les réseaux de distribution pendant des durées très importantes. Des dégâts nombreux et importants sont à attendre sur les habitations, les parcs et plantations. Les massifs forestiers peuvent être fortement touchés. La circulation routière peut être rendue très difficile sur l'ensemble du réseau. Les transports aériens et ferroviaires et maritimes peuvent être sérieusement affectés. Le fonctionnement des infrastructures des stations de ski peut être rendu impossible Des inondations importantes peuvent être à craindre aux abords des estuaires en période de marée haute.	**Dans la mesure du possible** Restez chez vous. Mettez-vous à l'écoute de vos stations de radio locales. Prenez contact avec vos voisins et organisez-vous. **En cas d'obligation de déplacement** Limitez-vous au strict indispensable en évitant, de préférence, les secteurs forestiers. Signalez votre départ et votre destination à vos proches. **Pour protéger votre intégrité et votre environnement proche** Rangez ou fixez les objets sensibles aux effets du vent ou susceptibles d'être endommagés. N'intervenez en aucun cas sur les toitures et ne touchez pas à des fils électriques tombés au sol. **Si vous êtes riverain d'un estuaire, prenez vos précautions face à des possibles inondations et surveillez la montée des eaux.** Prévoyez des moyens d'éclairages de secours et faites une réserve d'eau potable. **Si vous utilisez un dispositif d'assistance médicale (respiratoire ou autre) alimenté par électricité, prenez vos précautions en contactant l'organisme qui en assure la gestion.**
FORTES PRECIPITATIONS	
CONSEQUENCES POSSIBLES	**CONSEILS DE COMPORTEMENT**
De très fortes précipitations sont attendues susceptibles d'affecter les activités humaines et lavie économique pendant plusieurs jours. Des inondations très importantes sont possibles, y compris dans des zones rarement inondables, sur l'ensemble des bassins hydrologiques des départements concernés. Des cumuls très importants de précipitations sur de courtes durées peuvent localement provoquer des crues torrentielles de ruisseaux et fossés. Les conditions de circulation routière peuvent être rendues extrêmement difficiles sur l'ensemble du réseau. Risque de débordement des réseaux d'assainissement. Des coupures d'électricité plus ou moins longues peuvent se produire.	Dans la mesure du possible restez chez vous ou évitez tout déplacement dans les départements concernés. S'il vous est absolument indispensable de vous déplacer, soyez très prudents. Respectez, en particulier, les déviations mises en place. Ne vous engagez en aucun cas, à pied ou en voiture, sur une voie immergée. Signalez votre départ et votre destination à vos proches. **Pour protéger votre intégrité et votre environnement proche** Dans les zones inondables, prenez d'ores et déjà, toutes les précautions nécessaires à la sauvegarde de vos biens face à la montée des eaux, même dans les zones rarement touchées par les inondations. Prévoyez des moyens d'éclairage de secours et faites une réserve d'eau potable. Facilitez le travail des sauveteurs qui vous proposent une évacuation et soyez attentifs à leurs conseils. N'entreprenez aucun déplacement avec une embarcation sans avoir pris toutes les mesures de sécurité.
ORAGES	
CONSEQUENCES POSSIBLES	**CONSEILS DE COMPORTEMENT**
Nombreux et vraisemblablement très violents orages, susceptibles de provoquer localement des dégâts très importants. Localement, des dégâts très importants sont à craindre sur les habitations, les parcs, les cultures et plantations. Les massifs forestiers peuvent localement subir de très forts dommages et peuvent être rendus vulnérables aux feux par de très nombreux impacts de foudre. L'habitat léger et les installations provisoires peuvent être mis en réel danger. Des inondations de caves et points bas sont à craindre, ainsi que des crues torrentielles aux abords des ruisseaux et petites rivières.	**Dans la mesure du possible** Evitez les déplacements. Les sorties en montagne sont particulièrement déconseillées. **En cas d'obligation de déplacement** Soyez prudents et vigilants, les conditions de circulation pouvant devenir soudainement très dangereuses. N'hésitez pas à vous arrêter dans un lieu sûr. **Pour protéger votre intégrité et votre environnement proche** Evitez d'utiliser le téléphone et les appareils électriques. Rangez ou fixez les objets sensibles aux effets du vent ou susceptibles d'être endommagés. Si vous pratiquez le camping, vérifiez qu'aucun danger ne vous menace en cas de très fortes rafales de vent ou d'inondations torrentielles soudaines. En cas de doute, réfugiez-vous, jusqu'à l'annonce d'une amélioration, dans un endroit plus sûr. Signalez sans attendre les départs de feux dont vous pourriez être témoins. Si vous êtes dans une zone sensible aux crues torrentielles, prenez toutes les précautions nécessaires à la sauvegarde de vos biens face à la montée des eaux.

NEIGE - VERGLAS	
CONSEQUENCES POSSIBLES	**CONSEILS DE COMPORTEMENT**
De très importantes chutes de neige ou du verglas sont attendus, susceptibles d'affecter gravement les activités humaines et la vie économique. Les conditions de circulation risquent de devenir rapidement impraticables sur l'ensemble du réseau. De très importants dégâts peuvent affecter les réseaux de distribution d'électricité et de téléphone pendant plusieurs jours. De très importantes perturbations sont à craindre concernant les transports aériens et ferroviaires.	**Dans la mesure du possible** Restez chez vous. N'entreprenez aucun déplacement autres que ceux absolument indispensables. Mettez-vous à l'écoute de vos stations de radio locales. **En cas d'obligation de déplacement** Renseignez vous auprès du CRICR. Signalez votre départ et votre lieu de destination à vos proches. Munissez vous d'équipements spéciaux. Respectez scrupuleusement les déviations et les consignes de circulation. Prévoyez un équipement minimum au cas où vous seriez obligés d'attendre plusieurs heures sur la route à bord de votre véhicule. Ne quittez celui-ci sous aucun prétexte autre que sur sollicitation des sauveteurs. **Pour protéger votre intégrité et votre environnement proche** Protégez-vous des chutes et protégez les autres en dégageant la neige et en salant les trottoirs devant votre domicile, tout en évitant d'obstruer les regards d'écoulement des eaux. Ne touchez en aucun cas à des fils électriques tombés au sol. Protégez vos canalisations d'eau contre le gel. Prévoyez des moyens d'éclairage de secours et faites une réserve d'eau potable. Si vous utilisez un dispositif d'assistance médicale (respiratoire ou autre) alimenté par électricité, prenez vos précautions en contactant l'organisme qui en assure la gestion.
AVALANCHES	
CONSEQUENCES POSSIBLES	**CONSEILS DE COMPORTEMENT**
Très fort risque d'avalanche. Nombreux départs spontanés d'avalanche d'ampleur exceptionnelle.	Evitez, sauf urgence, tout déplacement sur les secteurs routiers d'altitude. Renseignez vous auprès de la préfecture du département concerné. Conformez vous strictement aux mesures d'interdictions et consignes de sécurité qui sont mises en œuvre dans les stations de ski et communes de montagne.

Les conseils de comportement et les conséquences possibles propre à la couleur rouge

Tabl. 48 - (9) Échelle de vigilance météo.[30]

1.6. MÉTÉORITES

L'échelle évalue la probabilité d'occurrence d'une collision entre une météorite et la terre, ainsi que l'importance des territoires qui pourraient être endommagés. Celle-ci est caractérisée par les échelles locale, régionale ou globale.

1.7. MOUVEMENTS DE TERRAIN

Les échelles décrivant les dommages liés aux mouvements de terrain, peuvent être classées par type de mouvement.

L'ensemble des échelles recensées est présenté ci-dessous. Il parait en effet nécessaire dans le cadre de ce travail de présenter toutes les échelles concernant les affaissements et les glissements de terrain.

[30] METEO-FRANCE (2001) - Guide et carte de vigilance. http://www.meteo.fr/meteonet/vigilance/

Events Having No Likely Consequences (Événements Sans Conséquences)	
0	The likelihood of a collision is zero, or well below the chance that a random object of the same size will strike the Earth within the next few decades. This designation also applies to any small object that, in the event of a collision, is unlikely to reach the Earth's surface intact.
Events Meriting Careful Monitoring (Événements Demandant un Contrôle Attentif)	
1	The chance of collision is extremely unlikely, about the same as a random object of the same size striking the Earth within the next few decades.
Events Meriting Concern (Événements Inquiétants)	
2	A somewhat close, but not unusual encounter. Collision is very unlikely.
3	A close encounter, with 1% or greater chance of a collision capable of causing localized destruction.
4	A close encounter, with 1% or greater chance of a collision capable of causing regional devastation.
Threatening Events (Événements Menaçants)	
5	A close encounter, with a significant threat of a collision capable of causing regional devastation.
6	A close encounter, with a significant threat of a collision capable of causing a global catastrophe.
7	A close encounter, with an extremely significant threat of a collision capable of causing a global catastrophe.
Certain Collisions (Collisions Certaines)	
8	A collision capable of causing localized destruction. Such events occur somewhere on Earth between once per 50 years and once per 1000 years.
9	A collision capable of causing regional devastation. Such events occur between once per 1000 years and once per 100,000 years.
10	A collision capable of causing a global climatic catastrophe. Such events occur once per 100,000 years, or less often.

Tabl. 49 - (11) Échelle de risque de collision avec une météorite.[31]

1.7.1. Affaissements miniers et subsidence

Toutes ces échelles décrivent des dommages physiques au bâti et les caractérisent selon leur gravité, exprimée aussi par le niveau de fonctionnalité du bâti et des éléments constitutifs de la maison (réseaux, huisseries) et l'importance des réparations à effectuer. Aucune relation n'est établie avec l'événement.

Classification des dégradations	**Description**
Négligeables ou très légères	Variation relative de longueur de la construction inférieure à 0,1 % ; fissures très légères dans les plâtres. Peut-être de légères fissures isolées dans la construction, non visibles de l'extérieur.
Légères	Variation relative de longueur de la construction compris entre 0,1 et 0,2 % ; plusieurs fissures légères visibles à l'intérieur de la construction. les portes et fenêtres peuvent se coincer. Des réparations aux murs et plafonds peuvent être nécessaires.
Appréciables	Variation relative de longueur de la construction compris entre 0,2 et 0,3 % ; fissures légères visibles de l'extérieur. Les portes et fenêtres sont coincées, les canalisations sont rompues.
Sévères	Variation relative de longueur de la construction compris entre 0,3 et 0,4 % ; les canalisations sont rompues, fractures ouvertes dans les murs, châssis des portes et fenêtres tordus, sols en pente, murs hors d'aplomb ou bombés, quelques déchaussements des poutres. En cas de compression, chevauchement des joints dans les toits et soulèvement des murs en briques avec fissures horizontales.
Très sévères	Variation relative de longueur de la construction supérieur à 0,5 % ; comme précédemment, mais pire. La construction doit être reconstruite partiellement ou complètement. Les poutres des planchers et de la toiture sont déchaussées et nécessitent d'être étayées. inclinaison importante des planchers. En cas de compression, gauchissement et bombement sévères des murs et du toit.

Tabl. 50 - (13) Échelle de dommages du National Coal Board.[32]

[31] Binzel R.P. (1997) - A near-Earth object hazard index. Annals New York Acad. Sci., **822**, 545-551.

Classification des dégradations	Description
Légères	Fissures superficielles dans un ou plusieurs murs de soubassement et éventuellement dans la dalle du sol. Certaines fissures dans les murs périphériques causent une perte de l'étanchéité des murs. Une reprise est requise dans quelques ou tous les murs.
Modérées	Fissures dans un ou plusieurs murs de soubassement et éventuellement dans la dalle du sol. Certains murs et fondations nécessitent d'être remplacés et certaines reprises doivent être faites localement.
Sévères	Fissures dans un ou plusieurs murs de soubassement et dans la dalle du sol. Instabilité possible des murs et perte de support de la superstructure qui requière des étayements et des consolidations. Des travaux importants sont nécessaires pour reconstruire des murs et des fondations et pour remplacer la dalle
Très sévères	Fissures typiquement dans tous les murs de soubassement et dans la dalle du sol. Instabilité possible de plusieurs murs et perte de support de la superstructure qui requière des étayements et des consolidations importants. Généralement, la reconstruction des murs de soubassements, des fondations et de la dalle du sol est nécessaire.

***Tabl. 51 - (14) Échelle de dommages selon Brunh* et al.[33]**

Classification des dégradations	Description
Architecturales	Fissures de petites dimensions dans les plâtres, coincement des portes et des fenêtres.
Fonctionnelles	Instabilité de certains éléments structuraux, blocage des portes et fenêtres, l'utilisation de la construction est réduite.
Structurelles	Caractériser par la dégradation des éléments structuraux principaux. Possibilité de rupture de certaines parties. Une reconstruction partielle ou totale est nécessaire, risque de danger pour les occupants.

Tabl. 52 - (15) Echelle de dommages selon Bhattacharya et Singh.[34]

Classification des dégradations	Description
1	Un faible nombre de petites fissures dans les murs n'excédant pas 4 mm. Généralement pas de réparations.
2	Fissures dans les murs comprises entre 4 et 10 mm. Chute de plâtres, portes et fenêtres ont un aspect penché, dégradations observées aux points de supports des poutres. Réparations mineures.
3	Murs penchés et fissurés (10 à 20 mm), planchers fissurés ou soulevés, déplacements aux points supports des poutres. Réparations moyennes.
4	Fissures dans les murs supérieures à 20 mm. Fissures horizontales, inclinaisons et déplacements des murs avec bombement vers l'intérieur ou l'extérieur. Ruptures en certains endroits, certains murs peuvent s'effondrer. Extrémités des poutres fortement déplacées, soulèvement du toit. Réparations majeures.

Tabl. 53 - (16) Echelle de dommages de Ji-Xian.[35]

[32] National Coal Board (1975) - Subsidence engineer's handbook.

[33] Bruhn R.W., McCan W.S., Speck R.C., Gray R.E. (1982) - Damage to structure above active underground coal mines in the normative appalachian caol field. First int. Conf. On stability in underground mining, chapitre 47, 1022-1046.

[34] Bhattacharya S., Singh M.M. (1984) - Proposed criteria for subsidence damage to buildings. Rock mechanics in productivity and production, 25st Symposium rock mechanics, 747-755.

[35] Ji-Xian C. (1985) - The effects of mining on buildings and structural précautions adopted. 3^{e} Int. Conf. Large ground mouvements and structures (Cardiff), 404-419.

Classification des dégradations	Description
Pas de fissuration	Déformation des murs inférieure à 0,01 %
Négligeables	Déformation des murs comprise entre 0,01 % et 0,05 %, fissures typiques inférieures à 0,3 mm
Très faibles à faibles	Déformation des murs comprise entre 0,05 % et 0,1 %, fissures typiques inférieures à 2 mm
Moyennes à importantes	Déformation des murs supérieure à 0,1 %, fissures typiques inférieures à 10 mm
Très importantes	Déformation des murs supérieure à 0,1 %, fissures typiques supérieures à 10 mm

***Tabl. 54 - (19) Échelle de classification des dégradations selon Pellisier* et al.[36]**

Classification des dégradations	Description
Négligeables	Fissures superficielles inférieures à 0,1 mm
Très légères	Fissures légères facilement traitées par des travaux de décoration. Dégradations généralement restreintes aux finitions des murs intérieurs. Une inspection attentive peut révéler des fissurations extérieures dans les murs en briques ou les maçonneries. Les fissures typiques atteignent 1 mm.
Légères	Fissures faciles à combler. Une redécoration est généralement nécessaire. Des fissures récurrentes peuvent être masquées par des alignements appropriés. Les fissures peuvent être visibles à l'extérieur et certaines reprises peuvent être nécessaires pour assurer l'étanchéité. Les portes et fenêtres peuvent coincer largement. Les fissures typiques atteignent 5 mm
Modérées	Les fissures nécessitent d'être ouvertes et traitées par un maçon. Reprise nécessaire des murs en briques extérieurs avec possibilité d'une petite quantité à remplacer. Les portes et fenêtres coincent. Les canalisations peuvent être rompues. Les fissures typiques sont comprises entre 5 et 15 mm ou plusieurs d'environ 3 mm.
Sévères	D'importants travaux de réparations des murs sont nécessaires, nécessitant parfois une démolition partielle, en particulier autour des portes et fenêtres. Les portes et fenêtres sont tordues, le sol notablement incliné. Les murs sont hors d'aplomb ou bombés, perte de portance de certaines poutres. Le service des canalisations est interrompu,. Les fissures typiques sont comprises entre 15 et 25 mm, mais dépendent également de l'espacement entre fissures.
Très sévères	Une réparation majeure de l'ouvrage est nécessaire, nécessitant une reconstruction partielle ou totale. Perte de portance des poutres, les murs penchent dangereusement et nécessitent d'être étayés. Les fenêtres sont rompues et tordues. Risque d'instabilité. Les fissures typiques sont supérieures à 25 mm, mais dépendent également de l'espacement entre fissures

Tabl. 55 - (25) Échelle de classification des dégradations selon Burland.[37]

1.7.2. Glissements de terrain

Les échelles de dommage au bâti, présentées dans le groupe « glissements de terrain », hormis l'échelle d'Alexander qui ne décrit que des niveaux de dommage physique, incluent des notions de coût financier. Soit en les comparant aux ressources financières des victimes, soit en les rapportant à la valeur totale du bien.

Développées dans le cadre d'une thèse sur les mouvements de terrain, trois autres échelles, sur les dommages humains, sur les dommages aux fonctions et sur les surfaces naturelles ont été développées (Leone). Ces échelles ne sont actuellement pas utilisées pour évaluer les dommages dus aux mouvements de terrain.

[36] Pellisier J.P., Williams A.A.B., Lunt B.G. (1992) - Predicting and assessing undermining induced distress in typical south african buildings. COMA, Symp. On constuction over mined areas, Pretoria, South Africa, Mai 1992, 117-123.

[37] Burland J.B. (1997) - Assessment of risk of damage to buildings due to tunneling and excavation. Earthquake geotechnical engineering, éditions Ishihara, Balkema, 1189-1201.

Niveau	Qualification	Description des dommages
0	None	Building is intact
1	Negligible	Hairline cracks in walls or structural members; no distortion of structure or detachment of external architectural details
2	Light	Buildings continues to be habitable; repair not urgent. Settlement of foundations, distortion of structure, and inclination of walls are not sufficient to compromise overall stability.
3	Moderate	Walls out of perpendicular by 1-2°, or substantial cracking has occured to structural members, or the foundations have settled during differential subsidence of at least 15 cm; building requires evacuation and rapid attention to ensure its continued life.
4	Serious	Walls out of perpendicular by several degrees; open cracks in walls; fracture of structural members; fragmentation of masonry; differential settlement of at least 25 cm compromising foundations; floors may be inclined by 1-2°or ruined by soil heave. Internal partition walls will need to be replaced; door and window frames are too distorted to use; occupants must be evacuated and major repairs carried out.
5	Very Serious	Walls out of plumb by 5-6°; structure grossly distorted and differential settlement has seriously cracked floors and walls or caused major rotation or slewing of the building (wooden buildings are detached completely from their fondations). Partition walls and brick infill will have at least partly collapsed; roofs may have partially collapsed; outhouses, porches, and patios may have been damaged more seriously than the principal structure itself. Occupants will need to be rehoused on a long-term basis, and rehabilitation of the building will probably not be feasible.
6	Partial Collapse	Requires immediate evacuation of the occupants and cordoning of the site to prevent accidents with falling masonry.
7	Total Collapse	Requires clearance of the site.

Tabl. 56 - (17) Échelle d'Alexander.[38]

Niveau d'intensité DPP	Niveau de mesures de prévention nécessaires
Faible	Moins de 10 % de la valeur vénale d'une maison individuelle moyenne
Moyenne	Parade financièrement supportable par un groupe restreint de propriétaires (immeuble collectif, petit lotissement)
Forte	Parades spécifiques, intéressant une aire géographique débordant largement le cadre parcellaire et d'un coût important
Majeure	Pas de parade sûre qui soit techniquement et économiquement envisageable

Tabl. 57 - (18) Échelle des niveaux d'intensité DPP (Demande de Prévention Potentielle).[39]

Niveau	Gravité	Préjudices humains
H0	Très faible	Accident improbable (sauf conséquences induites)
H1	Moyenne	Accident isolé
H2	Forte	Quelques victimes
H3	Majeure	Catastrophe majeure (quelques dizaines de victimes)

Tabl. 58 - (41) Échelle de gravité des phénomènes (au plan des préjudices humains).[40]

[38] Alexander D (1989) - Urban landslides. Progress in Physical Geography, 13, 157-191.

[39] CFGI (2000) - Caractérisation et cartographie de l'aléa dû aux mouvements de terrain. Collection environnement. Les risques naturels. ISBN 2-7208-5001-8.

[40] CFGI (2000) - Caractérisation et cartographie de l'aléa dû aux mouvements de terrain. Collection environnement. Les risques naturels. ISBN 2-7208-5001-8.

Nature de l'élément exposé	ID	Modes d'endommagement	Taux D
Bâti	I	Endommagements légers non structurels (gros œuvre non touché). Stabilité non affectée. Mobilier endommageable.	0,01-0,1
	II	Fissuration des murs, mais la stabilité n'est pas affectée. Réparations non urgentes.	0,2-0,3
	III	Déformations importantes, lézardes largement ouvertes, fissures apparaissent dans des éléments de la structure. Stabilité affectée. Portes et fenêtres inutilisables. Évacuations nécessaires.	0,4-0,6
	IV	Fracturation des structures. Désolidarisation des parties. Effondrement partiel de plancher et brèches dans les murs. L'évacuation s'impose. La réhabilitation semble compromise.	0,7-0,8
	V	Effondrement partiel à total qui nécessite une évacuation du site et compromet toute réhabilitation	0,9-1

Personnes	I	Préjudice moral ou gêne
	II	Troubles psychologiques
	III	Blessure physique sans séquelle
	IV	Blessure physique entraînant une invalidité
	V	Décès

Fonctions	Économique	I	Ralentissement de l'activité
		II	Arrêt provisoire
		III	Arrêt définitif
	Sociale Logement	I	Sans-abri temporaire (relogement provisoire)
		II	Sans-abri définitif (relogement définitif)
	Sociale Emploi	I	Chômage technique temporaire (quelques jours à quelques semaines)
		II	Chômage technique et durable (quelques mois)
		III	Perte de l'emploi
	Transport, Communication, Distribution	I	Ralentissement du trafic (pour routes et voies ferrées)
		II	Limitation de gabarit (pour routes et voies ferrées)
		III	Interruption momentanée (en heures)
		IV	Interruption prolongée (en jours)
		V	Interruption durable (en mois) à définitive
	Autre	I	Perdue provisoirement
		II	Perdue définitivement

Nature de l'élément exposé		ID	Modes d'endommagement	Taux D
Surfaces naturelles	Terrain (foncier et sol associé)	I	Dégradations du sol	0,1-0,4
		II	Remaniements topographiques mineurs	0,3-0,6
		III	Remaniements topographiques majeurs	0,7-1
	Cours d'eau	I	Partiellement obstrué	0,5
		II	Totalement obstrué	1
	Plan d'eau	I	Pertes hydrauliques	0,5
		II	Comblement partiel total	1

Tabl. 59 - (20 à 24) Échelle typologique d'endommagement selon Léone.[41]

1.8. SÉISMES

Les échelles des dommages dus aux séismes sont de deux types : les échelles qui ont pour objet l'évaluation de l'intensité de l'événement et qui décrivent ses conséquences et les échellles qui classifient les niveaux de dommage au bâti, et aux personnes. Pour chacun de ces types, le contenu des différentes échelles est assez voisin.

[41] LEONE F. (1996) - Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain. Rapport de thèse. Université Joseph Fourier Grenoble 1.

La mise en place de ces échelles est très ancienne puisqu'elle remonte à plus d'un siècle, leur fonctionnalité est avérée et les plus récentes sont utilisées couramment (EMS 98 par exemple) dans le monde pour caractériser les événements sismiques.

Seules six échelles d'intensité sismiques sont ou ont été vraiment utilisées. Ce sont Rossi-Forel, Mercalli et Mercalli modifié, MSK, JMA et EMS 98. Les échelles sismiques sont présentées ci-dessous, par ordre chronologique.

Intensity	Description
i.	Microseismic shock. Recorded by a single seismograph or by seismographs of the same model, but not by several seismographs of different kinds: the shock felt by an experienced observer.
II.	Extremely feeble shock. Recorded by several seismographs of different kinds; felt by a small number of persons at rest,
III.	Very feeble shock. Felt by several persons at rest; strong enough for the direction or duration to be appreciable.
IV.	Feeble shock. Felt by persons in motion, disturbance of movable objects, doors, windows, cracking of ceilings.
V.	Shock of moderate intensity. Felt generally by everyone; disturbance of furniture, beds, etc., ringing of some bells.
VI.	Fairly strong shock. General awakening of those asleep; general ringing of bells; oscillation of chandeliers; stopping of clocks; visible agitation of trees and shrubs; some startled persons leaving their dwellings.
VII.	Strong shock. Overthrow of movable objects, fall of plaster; ringing of church bells. general panic , without damage to buildings.
VIII.	Very strong shock. Fall of chimneys; cracks in the walls of buildings.
IX.	Extremely strong shock. Partial or total destruction of some buildings.
X.	Shock of extreme intensity. Great disaster; ruins; disturbance of the strata, fissures in the ground, rock falls from mountains.

Tabl. 60 - (33) Rossi Forel.

Intensity	Description
I.	Not felt except by a very few under especially favorable circumstances.
II.	Felt only by a few persons at rest, especially on upper floors of buildings. Delicately suspended objects may swing.
III.	Felt quite noticeably indoors, especially on upper floors of buildings, but many people do not recognize it as an earthquake. Standing automobiles may rock slightly. Vibration like passing of truck. Duration estimated.
IV.	During the day felt indoors by many, outdoors by few. At night some awakened. Dishes, windows, doors disturbed; walls make creaking sound. Sensation like heavy truck striking building. Standing automobiles rocked noticeably.
V.	Felt by nearly everyone, many awakened. Some dishes, windows, and so on broken; cracked plaster in a few places; unstable objects overturned. Disturbances of trees, poles, and other tall objects sometimes noticed. Pendulum clocks may stop.
VI.	Felt by all, many frightened and run outdoors. Some heavy furniture moved; a few instances of fallen plaster and damaged chimneys. Damage slight.
VII.	Everybody runs outdoors. Damage negligible in buildings of good design and construction; slight to moderate in well-built ordinary structures; considerable in poorly built or badly designed structures; some chimneys broken. Noticed by persons driving cars.
VIII.	Damage slight in specially designed structures; considerable in ordinary substantial buildings with partial collapse; great in poorly built structures. Panel walls thrown out of frame structures. Fall of chimneys, factory stack, columns, monuments, walls. Heavy furniture overturned. Sand and mud ejected in small amounts. Changes in well water. Persons driving cars disturbed.
IX.	Damage considerable in specially designed structures; well-designed frame structures thrown out of plumb; great in substantial buildings, with partial collapse. Buildings shifted off foundations. Ground cracked conspicuously. Underground pipes broken.
X.	Some well-built wooden structures destroyed; most masonry and frame structures destroyed with foundations; ground badly cracked. Rails bent. Landslides considerable from river banks and steep slopes. Shifted sand and mud. Water splashed, slopped over banks.
XI.	Few, if any, (masonry) structures remain standing. Bridges destroyed. Broad fissures in ground. Underground pipelines completely out of service. Earth slumps and land slips in soft ground. Rails bent greatly.
XII.	Damage total. Waves seen on ground surface. Lines of sight and level distorted. Objects thrown into the air.

Tabl. 61 - (34) Mercalli modifié.

Intensity	Reference items	Scale Explanation
0	No feeling. Shocks too weak to be felt by humans, registered only by seismographs.	Not felt unless shaking is felt by the body, even when a hanging object is seen to be slightly swinging or some rattling is heard.
I	Slight. Extremely weak shocks felt only by persons at rest or by those who are very sensitive to earthquakes.	Shaking is slightly felt when a person is quiet, but the duration is not long. The shaking is not frequently felt when a person is standing.
II	Weak. Shocks felt by most persons, slight shaking of doors and Japanese sliding doors (shoji).	Hanging objects are seen to move, and slight shaking is felt even when a person is standing, but it is generally not felt when a person is moving. Occasionally a person can be awakened.
III	Rather strong. Slight shaking of houses and buildings, rattling of doors and Japanese sliding doors (shoji). The water surface of a vessel can be seen to ripple.	Felt to be slightly surprising, and sleeping persons wake up, but they do not run outside or feel afraid. Many people outside feel it, but some pedestrians may not.
IV	Strong. Strong shaking of houses and buildings, overturning of unstable objects, and spilling of liquids out of vessel. Felt by walking people outdoors, and many people inside rush outdoors. Considerable swinging of hanging objects such as light bulbs.	Sleeping people jump out of bed, and feel afraid. Electric poles and trees are seen to shake. Some roofing tiles of general houses may slip out of place, but serious damage does not occur yet. Slight dizziness is felt.
V	Very strong. Cracks in the walls, overturning of gravestones, stone lanterns etc., damage to chimneys and stone fences.	It is considerably difficult to remain standing. In houses, slight damage is generally sustained. A soft ground can split or break. Unstable furniture falls over.
VI	Disastrous. Collapse of less than 30% of all houses, landslide, and fissures in the ground. Most people cannot stand.	It is difficult to walk, and one has to crawl to move.
VII	Very disastrous. Collapse of more than 30% of all houses, intense landslide, large fissures in the ground, and faults.	

Tabl. 62 - (35) JMA.

Degré	Qualification	Description des effets observés
I	Secousse non perceptible	L'intensité de la vibration se situe au dessous du seuil de perception humaine : la secousse est détectée et enregistrée seulement par les séismographes.
II	Secousse à peine perceptible	La secousse est ressentie seulement par quelques individus au repos dans leur habitation, plus particulièrement dans les étages supérieurs des bâtiments.
III	Secousse faible ressentie seulement de façon partielle	La secousse est ressentie par quelques personnes à l'intérieur des constructions et n'est ressentie à l'extérieur qu'en cas de circonstances favorables. La vibration ressemble à celle causée par le passage d'un camion léger. Des observateurs attentifs notent un léger balancement des objets suspendus, balancement plus accentué dans les étages supérieurs.
IV	Secousse largement ressentie	Le séisme est ressenti à l'intérieur des constructions par de nombreuses personnes et par quelques personnes à l'extérieur. Des dormeurs isolés sont réveillés mais personne n'est effrayé. La vibration est comparable à celle due au passage d'un camion lourdement chargé. Les fenêtres, les portes et les assiettes tremblent. Les planchers et les murs font entendre des craquements. Le mobilier commence à être secoué. Les liquides contenus dans des récipients ouverts s'agitent légèrement. Les objets suspendus se balancent légèrement.
V	Réveil des dormeurs	Le séisme est ressenti à l'intérieur par tout le monde et à l'extérieur par de nombreuses personnes. De nombreux dormeurs s'éveillent, quelques-uns sortent en courant. Les animaux sont nerveux. Les constructions sont agitées d'un tremblement général. Les objets suspendus sont animés d'un large balancement. Les tableaux cognent sur les murs ou sont projetés hors de leur emplacement. En certains cas, les pendules à balancier s'arrêtent. Les objets peu stables peuvent être renversés ou déplacés. Les portes ou les fenêtres ouvertes battent avec violence. Les liquides contenus dans des récipients bien remplis se répandent en petite quantité. La vibration est ressentie comme celle due à un objet lourd dégringolant dans le bâtiment. De légers dommages du 1er degré sont possibles dans les bâtiments de type A. Modification en certains cas du débit des sources.
VI	Frayeur	Le séisme est ressenti par la plupart des personnes, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des bâtiments. De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent vers l'extérieur. Quelques personnes perdent l'équilibre. Les animaux domestiques s'échappent de leur stalle. Dans quelques cas, les assiettes et les verres peuvent se briser, les livres tomber. Le mobilier lourd peut se déplacer et dans les clochers les petites cloches peuvent tinter spontanément. Dommages du 1er degré dans quelques constructions du type B et dans de nombreuses constructions du type A. Dans quelques bâtiments de type A, dommages du 2e degré. En certains cas, des crevasses de l'ordre du centimètre peuvent se produire dans les sols détrempés, des glissements de terrains peuvent se produire en montagne : on peut observer des changements dans le débit des sources et le niveau des puits.

Tabl. 63 - (36) Échelle MSK.

Degré	Qualification	Description des effets observés
VII	Dommages aux constructions	La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent au dehors. Beaucoup ont de la difficulté à rester debout. La vibration est ressentie par des personnes conduisant des voitures automobiles. De grosses cloches se mettent à sonner. Dans de nombreux bâtiments du type C, dommages du 1er degré ; dans de nombreux bâtiments de type B, dommages du 2e degré. De nombreux bâtiments de type A sont endommagés au 3e degré et quelques-uns au 4e degré. Dans quelques cas, glissement des routes le long des pentes raides ; fissures en travers des routes ; joints de canalisations endommagés ; fissures dans les murs de pierres. Des vagues se forment sur l'eau et celle-ci est troublée par la boue mise en mouvement. Les niveaux d'eau dans les puits et le débit des sources changent. Dans quelques cas, des sources taries se remettent à couler et des sources existantes se tarissent. Dans des cas isolés des talus de sable ou de graviers s'éboulent partiellement.
VIII	Destruction de bâtiments	Frayeur et panique - même les personnes conduisant des voitures automobiles sont effrayées. Dans quelques cas des branches d'arbres se cassent. Le mobilier, même lourd, se déplace ou se renverse. Les lampes suspendues sont endommagées en partie. De nombreux bâtiments du type C subissent des dommages du 2e degré et quelques-uns du 3e degré ; quelques bâtiments de type B sont endommagés au 3e degré et quelques-uns au 4e degré. De nombreux bâtiments du type A sont endommagés au 4e degré et quelques-uns au 5e degré. Ruptures occasionnelles de joints de canalisations. Les monuments et les statues se déplacent ou tournent sur eux-mêmes. Les stèles funéraires se renversent. Les murs de pierres s'effondrent. De petits glissements de terrains peuvent se produire dans les ravins et le long des routes en talus sur de fortes pentes. Les crevasses dans le sol atteignent plusieurs centimètres de largeur. L'eau des lacs devient trouble. De nouvelles retenues d'eau se créent dans les vallées. Des puits asséchés se remplissent et des puits existants se tarissent. Dans de nombreux cas, changement dans le débit et le niveau de l'eau.
IX	Dommages généralisés aux constructions	Panique générale ; dégâts considérables au mobilier. Les animaux affolés courent dans toutes les directions et poussent des cris. De nombreux bâtiments du type C subissent des dommages du 3e degré, quelques-uns du 4e degré. De nombreux bâtiments du type B subissent des dommages du 4e degré et quelques-uns du 5e degré. De nombreux bâtiments du type A sont endommagés au 5e degré. Les monuments et les colonnes tombent. Dommages considérables aux réservoirs au sol ; rupture partielle des canalisations souterraines. Dans quelques cas, des rails de chemin de fer sont pliés, des routes endommagées. Des projections d'eau, de sable et de boue sur les plages sont observées. Les crevasses dans le sol atteignent 10 cm ; elles dépassent 10 cm sur les pentes et les berges des rivières. En outre, un grand nombre de petites crevasses s'observent dans le sol ; chutes de rochers ; nombreux glissements de terrain ; grandes vagues sur l'eau ; des puits asséchés peuvent retrouver leur débit et les puits existants peuvent s'assécher.
X	Destruction générale des bâtiments	De nombreux bâtiments du type C subissent des dommages du 4e degré et quelques-uns du 5e degré. De nombreux bâtiments du type B subissent des dommages du 5e degré : la plupart des bâtiments du type A subissent des destructions du 5e degré ; dommages dangereux aux barrages et aux digues ; dommages sévères aux ponts. Les lignes de chemin de fer sont légèrement tordues. Les canalisations souterraines sont tordues ou rompues. Le pavage des rues et l'asphalte forment de grandes ondulations. Les crevasses du sol présentent des largeurs de plusieurs centimètres et peuvent atteindre 1 m. Il se produit de larges crevasses parallèlement aux cours d'eau. Les terres meubles s'éboulent le long des pentes raides. De considérables glissements de terrain peuvent se produire dans les berges des rivières et le long des rivages escarpés. Dans les zones littorales, déplacements de sable et de boue ; changement de niveau d'eau dans les puits ; l'eau des canaux, des lacs, des rivières est projetée sur la terre. De nouveaux lacs se créent.
XI	Catastrophes	Dommages sévères même aux bâtiments bien construits, aux ponts, aux barrages et aux lignes de chemin de fer ; les grandes routes deviennent inutilisables ; les canalisations souterraines sont détruites. Le terrain est considérablement déformé aussi bien par des mouvements dans les directions horizontales et verticales que par de larges crevasses, de nombreux glissements de terrain et chutes de rochers. La détermination de l'intensité de la secousse nécessite des investigations spéciales.
XII	Changement du paysage	Pratiquement toutes les structures au-dessus et au-dessous du sol sont gravement endommagées ou détruites. La topographie est bouleversée. D'énormes crevasses accompagnées d'importants déplacements horizontaux et verticaux sont observés. Des chutes de rochers et des affaissements de berges de rivières s'observent sur de vastes étendues. Des vallées sont barrées et transformées en lacs ; des cascades apparaissent et des rivières sont déviées. La détermination de l'intensité nécessite des investigations spéciales.

Tabl. 63 - (36) Échelle MSK (fin).

Damage State	Structural damage	Non-structural Damage	Damage Ratio [%]	Description of Damage States
0	None	None	0-0.05	No Damage
1	None	Minor	0.05-0.3	Minor non-structural damage - a few walls and partitions cracked; incidental mechanical and electrical damage
2	None	Localised	0.3-1.25	Localised non-structural damage - more extensive cracking [but still not widespread]; possibly damage to elevators and/or other mechanical electrical components
3	Not Noticeable	Widespread	1.25-3.5	Widespread non-structural damage - possibly a few beams and columns cracked, although not noticeable
4	Minor	Substantial	3.5-7.5	Minor structural damage - obvious cracking or yielding in a few structural members; substantial non-structural damage with widespread cracking
5	Substantial	Extensive	7.5-20.0	Substantial structural damage requiring repair or replacement of some structural members; associated extensive non-structural damage
6	Major	Nearly total	20-65.0	Major structural damage requiring repair or replacement of many structural members; associated non-structural damage requiring repairs to major portion of interior; building vacated during repairs
7	Building condemned		100	Building condemned
8	Collapse		100	Collapse

***Tabl. 64 - (12) Échelle de dommages au bâti après un séisme selon Whitman* et al.[42]**

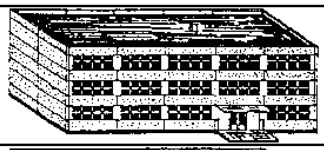
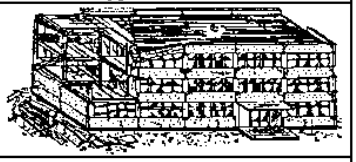
EMS 98[43] : Il s'agit de l'échelle européenne macrosismique, établie en 1998 (elle remplace l'EMS 92). Cette échelle décrit les caractéristiques des niveaux d'intensité des événements sismiques et décrit les dommages au bâti (maçonnerie et béton), en les hiérarchisant par niveau.

I.	Not felt	a)- Not felt, even under the most favourable circumstances. b)- No effect. c)- No damage.
II.	Scarcely felt	a)- The tremor is felt only at isolated instances (<1%) of individuals at rest and in a specially receptive position indoors. b)- No effect. c)- No damage.
III.	Weak	a)- The earthquake is felt indoors by a few. People at rest feel a swaying or light trembling. b)-Hanging objects swing slightly. c)- No damage.
IV.	Largely observed	a)- The earthquake is felt indoors by many and felt outdoors only by very few. A few people are awakened. The level of vibration is not frightening. The vibration is moderate. Observers feel a slight trembling or swaying of the building, room or bed, chair etc. b)- China, glasses, windows and doors rattle. Hanging objects swing. Light furniture shakes visibly in a few cases. Woodwork creaks in a few cases. c)- No damage.
V.	Strong	a)- The earthquake is felt indoors by most, outdoors by few. A few people are frightened and run outdoors. Many sleeping people awake. Observers feel a strong shaking or rocking of the whole building, room or furniture. b)- Hanging objects swing considerably. China and glasses clatter together. Small, top-heavy and/or precariously supported objects may be shifted or fall down. Doors and windows swing open or shut. In a few cases window panes break. Liquids oscillate and may spill from well-filled containers. Animals indoors may become uneasy. c)- Damage of grade 1 to a few buildings of vulnerability class A and B.
VI.	Slightly damaging	a)- Felt by most indoors and by many outdoors. A few persons lose their balance. Many people are frightened and run outdoors. b)- Small objects of ordinary stability may fall and furniture may be shifted. In few instances dishes and glassware may break. Farm animals (even outdoors) may be frightened. c)- Damage of grade 1 is sustained by many buildings of vulnerability class A and B; a few of class A and B suffer damage of grade 2; a few of class C suffer damage of grade 1.

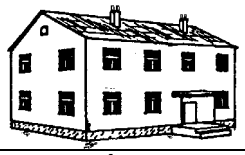
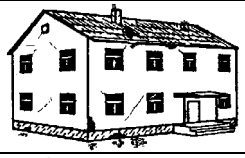
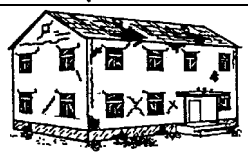
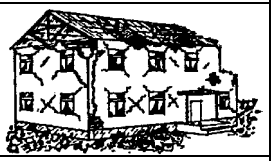
[42] Whitman R.V., Reed J.W., Hong S.T. (1973) - Earthquake damage probability matrices. 5th world conference on earthquake engineering, Roma, 2531-2540.
[43] Grünthal G. (1998) - European Macroseismic Scale (EMS98). Conseil de l'Europe. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, vol. 15.

Intensity	Qualification	Damage Description
VII.	Damaging	a)- Most people are frightened and try to run outdoors. Many find it difficult to stand, especially on upper floors. b)- Furniture is shifted and top-heavy furniture may be overturned. Objects fall from shelves in large numbers. Water splashes from containers, tanks and pools. c)- Many buildings of vulnerability class A suffer damage of grade 3; a few of grade 4. Many buildings of vulnerability class B suffer damage of grade 2; a few of grade 3. A few buildings of vulnerability class C sustain damage of grade 2. A few buildings of vulnerability class D sustain damage of grade 1.
VIII.	Heavily damaging	a)- Many people find it difficult to stand, even outdoors. b)- Furniture may be overturned. Objects like TV sets, typewriters etc. fall to the ground. Tombstones may occasionally be displaced, twisted or overturned. Waves may be seen on very soft ground. c)- Many buildings of vulnerability class A suffer damage of grade 4; a few of grade 5. Many buildings of vulnerability class B suffer damage of grade 3; a few of grade 4. Many buildings of vulnerability class C suffer damage of grade 2; a few of grade 3. A few buildings of vulnerability class D sustain damage of grade 2.
IX.	Destructive	a)- General panic. People may be forcibly thrown to the ground. b)- Many monuments and columns fall or are twisted. Waves are seen on soft ground. c)- Many buildings of vulnerability class A sustain damage of grade 5. Many buildings of vulnerability class B suffer damage of grade 4; a few of grade 5. Many buildings of vulnerability class C suffer damage of grade 3; a few of grade 4. Many buildings of vulnerability class D suffer damage of grade 2; a few of grade 3. A few buildings of vulnerability class E sustain damage of grade 2.
X.	Very destructive	c)- Most buildings of vulnerability class A sustain damage of grade 5. Many buildings of vulnerability class B sustain damage of grade 5. Many buildings of vulnerability class C suffer damage of grade 4; a few of grade 5. Many buildings of vulnerability class D suffer damage of grade 3; a few of grade 4. Many buildings of vulnerability class E suffer damage of grade 2; a few of grade 3. A few buildings of vulnerability class F sustain damage of grade 2.
XI	Devastating	c)- Most buildings of vulnerability class B sustain damage of grade 5. Most buildings of vulnerability class C suffer damage of grade 4; many of grade 5. Many buildings of vulnerability class D suffer damage of grade 4; a few of grade 5. Many buildings of vulnerability class E suffer damage of grade 3; a few of grade 4. Many buildings of vulnerability class F suffer damage of grade 2; a few of grade 3.
XII.	Completely devastating	c)- All buildings of vulnerability class A, B and practically all of vulnerability class C are destroyed. Most buildings of vulnerability class D, E and F are destroyed. The earthquake effects have reached the maximum conceivable effects.

Tabl. 65 - (38) Echelle d'intensité EMS 98.

Niveau	Qualification	Description	
Grade 1	Negligible to slight damage (no structural damage, slight non-structural damage)	Fine cracks in plaster over frame members or in walls at the base. Fine cracks in partitions and infills.	
Grade 2	Moderate damage (slight structural damage, moderate non-structural damage)	Cracks in columns and beams of frames and in structural walls. Cracks in partition and infill walls; fall of brittle cladding and plaster. Falling mortar from the joints of wall panels.	
Grade 3	Substantial to heavy damage (moderate structural damage, heavy non-structural damage)	Cracks in columns and beam column joints of frames at the base and at joints of coupled walls. Spalling of conrete cover, buckling of reinforced rods. Large cracks in partition and infill walls, failure of individual infill panels.	
Grade 4	Very heavy damage (heavy structural damage, very heavy non-structural damage)	Large cracks in structural elements with compression failure of concrete and fracture of rebars; bond failure of beam reinforced bars; tilting of columns. Collapse of a few columns or of a single upper floor.	
Grade 5	Destruction (very heavy structural damage)	Collapse of ground floor or parts (e. g. wings) of buildings.	

Tabl. 66 - (30) EMS 98, échelle de dommages aux constructions en béton.

Niveau	Qualification	Description	
Grade 1	Negligible to slight damage (no structural damage, slight non-structural damage)	Hair-line cracks in very few walls. Fall of small pieces of plaster only. Fall of loose stones from upper parts of buildings in very few cases.	
Grade 2	Moderate damage (slight structural damage, moderate non-structural damage)	Cracks in many walls. Fall of fairly large pieces of plaster. Partial collapse of chimneys.	
Grade 3	Substantial to heavy damage (moderate structural damage, heavy non-structural damage)	Large and extensive cracks in most walls. Roof tiles detach. Chimneys fracture at the roof line; failure of individual non-structural elements (partitions, gable walls).	
Grade 4	Very heavy damage (heavy structural damage, very heavy non-structural damage)	Serious failure of walls; partial structural failure of roofs and floors.	
Grade 5	Destruction (very heavy structural damage)	Total or near total collapse.	

Tabl. 67 - (31) EMS 98, échelle de dommages aux constructions en maçonnerie.

Hazus[44] : Il s'agit d'une méthode américaine d'évaluation des dommages liés au risque sismique. Cette méthode a été développée aux États-Unis par le FEMA (Federal Emergency Mangement Agency), avec l'aide des assureurs, à la suite des séismes de Loma Prieta et de Northridge.

De nombreux types de dommages sont décrits, tels que les dommages au bâti, aux infrastructures, aux réseaux et aux personnes. Dans ce document, pour chaque type de dommage, à titre d'illustration, un tableau est présenté.

Slight Structural Damage	Small plaster or gypsum-board cracks at corners of door and window openings and wall-ceiling intersections; small cracks in masonry chimneys and masonry veneer.
Moderate Structural Damage	Large plaster or gypsum-board cracks at corners of door and window openings; small diagonal cracks across shear wall panels exhibited by small cracks in stucco and gypsum wall panels; large cracks in brick chimneys; toppling of tall masonry chimneys.
Extensive Structural Damage	Large diagonal cracks across shear wall panels or large cracks at plywood joints; permanent lateral movement of floors and roof; toppling of most brick chimneys; cracks in foundations; splitting of wood sill plates and/or slip page of structure over foundations; partial collapse of "room-over-garage" or other "soft-story" configurations; small foundations cracks.
Complete Structural Damage	Structure may have large permanent latéral displacement, may collapse, or be in imminent danger of collapse due to cripple wall failure or the failure of the lateral load resisting system; some structures may slip and fall off the foundations; large foundation cracks. Approximately 5% of the total area of W1 buildings with Complete damage is expected to be collapsed.

Tabl. 68 - (26) Hazus, exemple d'échelle de dommage pour un type de bâti.

[44] FEMA (1999) - Earthquake Loss Estimation Methodology. HAZUS99 Technical Manual. Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.

Highway	Roadway	Slight settlement (few inches) or offset of the ground
		Moderate settlement (several inches) or offsetof the ground
		Major settlement of the ground (few feet)
		Major settlement of the ground
	Bridges	Minor cracking and spalling to the abutment, cracks in shear keys at abutments, minor spalling and cracks at hinges, minor spalling at the column (damage requires no more than cosmetic repair) or minor cracking to the deck
		Any column experiencing moderate (shear cracks) cracking and spalling (column structurally still sound), moderate movement of the abutment (<2"), extensive cracking and spalling of shear keys, any connection having cracked shear keys or bent bolts, keeper bar failure without unseating, rocker bearing failure or moderate settlement of the approach.
		Any column degrading without collapse – shear failure - (column structurally unsafe), significant residual movement at connections, or major settlement approach, vertical offset of the abutment, differential settlement at connections, shear key failure at abutments.
		Column collapsing and connection losing all bearing support ; which may lead to imminent deck collapse, tilting of substructure due to foundation failure.
	Tunnels	Minor cracking of the tunnel liner (damage requires no more than cosmetic repair) and some rock falling, or by slight settlement of the ground at a tunnel portal.
		Moderate cracking of the tunnel liner and rock falling.
		Major ground settlement at a tunnel portal and extensive cracking of the tunnel liner.
		Major cracking of the tunnel liner, which may include possible collapse.

Tabl. 69 - (27) Hazus, exemple d'échelle de dommage pour une infrastructure autoroutière.

Potable Water	Water treatment plants	Malfunction of plant for a short time (less than three days) due to loss of electric power and backup power if any, considerable damage to various equipment, light damage to sedimentation basins, light damage to chlorination tanks, or light damage to chemical tanks. Loss of water quality may occur.
		Malfunction of plant for about a week due to loss of electric power and backup power if any, extensive damage to varions equipment, considerable damage to sedimentation basins, considerable damage to chlorination tanks with no loss of contents, or considerable damage to chemical tanks. Loss of water quality is imminent.
		The pipes connecting the different basins and chemical units being extensively damaged. This type of damage will likely result in the shutdown of the plant.
		Complete failure of all pipings, or extensive damage to the filter gallery.
	Pumping plants	Malfunction of plant for a short time (less than three days) due to loss of electric power and backup power if any, or slight damage to buidings.
		Loss of electric power for about a week, considerable damage to mechanical and electrical equipment, or moderate damage to buildings.
		Building being extensively damaged, or the pumps being badly damaged beyond repair.
		Building collapsing
	Wells	Malfunction of well pump and motor for a short time (less than three days) due to loss of electric Power and backup power if any, or light damage to buidings.
		Malfunction of well pump and motor for about a week due to loss of electric power and back up power if any, considerable damage to mechanical and electrical equipment, or moderate damage to buildings.
		Building being extensively damaged or the well pump and vertical shaft being badly distorted and nonfunctional.
		Building collapsing.
	Storage Tanks	Minor damage without loss of its contents or functionality. Minor damage to the tank roof due to water sloshing, minor cracks in concrete tanks, or localized wrinkles in steel tanks fits the description of this damage state.
		Tank being considerably damaged, but only minor loss of content. Elephant foot buckling for steel tanks without loss of content, or moderate cracking of concrete tanks with minor loss of content fits the description of this damage state.
		Severely damaged and going out of service. Elephant foot buckling for steel tanks with loss of content, stretching of bars for wood tanks, or shearing of wall for concrete tanks fits the description of this damage state.
		Tank collapsing and losing all of its content.

Tabl. 70 - (28) Hazus, échelle de dommages pour les installations d'eau potable.

Injury Severity Level	Injury Description
Severity 1	Injuries requiring basic medical aid without requiring hospitalization
Severity 2	Injuries requiring a greater degree of medical care and hospitalization, but not expected to progress to a life threatening status
Severity 3	Injuries that pose an immediate life threatening condition if not treated adequately and expeditiously. The majority of these injuries are the result of structural collapse and subsequent entrapment or impairment of the occupants.
Severity 4	Instantaneously killed or mortally injured

Tabl. 71 - (29) Hazus, échelle de dommages aux personnes.

1.9. TSUNAMI

Intensity	Height (m)	Description of tsunami
I	0.5	*Very slight.* Wave so weak as to be perceptible only on tide gauge records.
II	1	*Slight.* Waves noticed by people living along the shore and familiar with the sea. On very flat shores waves generally noticed.
III	1	*Rather large.* Generally noticed. Flooding of gently sloping coasts. Light sailing vessels carried away on shore. Slight damage to light structures situated near the coast. In estuaries, reversal of river flow for some distance upstream.
IV	4	*Large*. Flooding of the shore to some depth. Light scouring on made ground. Embankments and dykes damaged. Light structures near the coast damaged. Solid structures on the coast lightly damaged. Large sailing vessels and small ships swept inland or carried out to sea. Coasts littered with floating debris.
V	8	*Very large*. General flooding of the shore to some depth. Quays and other heavy structures near the sea damaged. Light structures destroyed. Severe scouring of cultivated land and littering of the coast with floating objects, fish and other sea animals. With the exception of large ships, all vessels carried inland or out to sea. Large bores in estuaries. Harbour works damaged. People drowned, waves accompanied by a strong roar.
VI	16	*Disastrous*. Partial or complete destruction of man-made structures for some distance from the shore. Flooding of coasts to great depths. Large ships severely damaged. Trees uprooted or broken by the waves. Many casualties.

Tabl. 72 - (1) Echelle de Soloviev.[45]

Niveau	Hauteur des vagues		Dommages potentiels
	Au large	À la côte	
-1	-	< 50 cm	Tsunami mineur
0	~10 cm	1 m	Pas de préjudice
1	~25 cm	2 m	Dégâts aux maisons et aux navires
2	~50 cm	4 à 6 m	Destruction des navires, pertes humaines
3	~1 m	1à à 20 m	Destruction des côtes sur ~200km
4	~2 m	30 m	Destruction des côtes sur ~500km

Tabl. 73 - (5) Echelle de Murty.[46]

[45] Soloviev V. (1978) - Tsunamis. *In* The assessment and mitigation of earthquake risk, UNESCO, Paris.

[46] Murty T.S. (1977) - Seismic sea waves, tsunamis. Canadian Department of Fisheries and the Environment, Bulletin 198, 337 p.

Niveau	Qualification	Description des dommages
I	Not felt	a) Not felt even under the most favorable circumstances. b) No effect. c) No damage.
II	Scarcely felt	a) Felt by few people onboard small vessels. Not observed on the coast. b) No effect. c) No damage.
III	Weak	a) Felt by most people onboard small vessels. Observed by few people on coast. b) No effect. c) No damage.
IV	Largely observed	a) Felt by all onboard small vessels and by few people onboard large vessels. Observed by most people on the coast. b) Few small vessels move slightly onshore. c) No damage.
V	Strong	a) Felt by onboard large vessels and observed by all on the coast. Few people are frightened and run to higher ground. b) Many small vessels move strongly onshore, few of them crash into each other or overdrive. Traces and sand layer are left behind on ground with favorable conditions. Limited flooding of cultivated land. c) Limited flooding of outdoors facilities (e.g. gardens) of near-shore structures.
VI	Slightly damaging	a) Many people are firghtened and run to higher ground. b) Most small vessels move violently onshore, crash strongly into each other, or overturn. c) Damage and flooding in a few wooden structures. Most masonry buildings withstand.
VII	Damaging	a) Most people are frightened and try to run to higher ground. b) Many small vessels damages. Few large vessels oscillate violently. Objects of variable size and stability overturn and drift. Sand layer and accumulations of pebbles are left behind. Few aquaculture rafts washed away. c) Many wooden structures damaged, few are demolished or washed away. Damage of grade 1 and flooding in a few masonry buildings.
VIII	Veavily damaging	a) All people escape to higher ground, a few are washed away. b) Most of all small vessels are moved ashore or crash into each other. Big objects are drift away. Erosion and littering in the beach. Extensive flooding. Slight damage in tsunami control forest, stop drifts. Many aquaculture rafts washed away, few partially damaged. c) Most wooden structures are washed away or demolished. Damage of grade 2 in a few masonry buildings. Most RC buildings sustain damage, in a few damage of grade 1 and flooding is observed.
IX	Destructive	a) Many people are washed away b) Most small vessels are destroyer or washed away. Many large vessels are moved violently ashore, few are destroyer. Extensive erosion and literie of the beach. Local ground subsidence. Partial destruction in tsunami control forest, stop drifts. Most aquaculture rafts washed away, many partially damaged. c) Damage of grade 3 in many masonry buildings, few RC buildings suffer from damage grade 2.
X	Very destructive	a) General panic. Most people are washed away. b) Most large vessels are moved violently ashore, many are destroyed or collide with buildings. Small boulders from the sea bottom are moved in land. Cars overturned and drifted. Oil spis, fires start. Extensive ground subsidence. c) Damage of grade 4 in many masonry buildings, few RC buildings sufffer from damage grade 3. Artificial embankments collapse, port water breaks damaged.
XI	Devastating	b) Lifelines interrupted. Extensive fires. Water backwash drifts cars and objects in the sea. Big boulders from the sea bottom are moved in land. c) Damage of grade 5 in many masonry buildings. Few RC buildings suffer from damage grade 4, many suffer from damage grade 3.
XII	Completely devastating	c) Partically all masonry buildings demolished. Most RC buildings suffer from at least damage grade 3.

Tabl. 74 - (40) Échelle de dommages liés aux tsunamis (Papadopoulos).[47]

[47] Papadopoulos A., Imamura F. (2001) - A proposal for a new tsunami intensity scale. ITS 2001 Proceedings, Session 5, n° 5.1.

Les échelles de tsunami sont très proches des échelles d'intensité sismique : elles associent l'intensité d'un événement au niveau d'endommagement des éléments exposés. Celui-ci est codifié chez Papadopoulos (niveaux 1 à 4).

Seule l'échelle de Murty intègre l'emprise géographique du phénomène.

1.10. VOLCANISME

Niveau d'intensité	Qualification	Niveau	Types de dommages produits	Règles d'expertise utilisées
I_0	Très faible à nul	<= 5% de destruction	Pas de danger pour les populations ; gène passagere Dégâts peu importants pour l'agriculture Corrosion légère occasionnelle	Retombées de cendres<1cm, Gaz diffus, pluies acides
I_1	Faible	5 à 10% de destruction	Pas de danger réel pour les populations Dégâts éventuellement notables pour l'agriculture, le bétail,… Corrosion, abrasion des engins mécaniques, outillages et installations industrielles, …	Dépôts de cendres, ponces, lapillis de faible épaisseur (<20cm), Gaz, pluies acides
I_2	Moyenne	10 à 50% de destruction	Nuisances graves aux infrastructures Population moyennement exposée	Bordures d'une coulée pyroclastique, retombées de cendres, de petits blocs ponceux (1m d'épaisseur), retombée de cheveux de Pélée et ou gaz panaches/ toxiques…
I_3	Élevée	50 à 80% de destruction	Destruction partielle des infrastructures Danger important pour les populations qui peuvent toutefois échapper à la mort si elles sont bien protégées : relief important, mur, cave, toit résistant, …	Zones latérales d'une coulée pyroclastique, effet thermique, effet de souffle, dépôts épais de cendres, lapillis, ponces, … (>1m)
I_4	Très élevée	>=80% de destruction	Destruction totale : êtres vivants, végétation et infrastructures	Coulée de lave, Coulée de boue, Coulée de pyroclastites. Balayage ou enfouissement sous des laves, des cendres, des ponces, des blocs, de la boue, effet de souffle puissant, effet thermique puissant

Tabl. 75 - (39) Échelle d'intensité des phénomènes volcaniques.[48]

Cette échelle est expérimentale. Elle associe deux types d'échelles : l'une du type évaluation sismique d'intensité d'un événement (dommages produits), l'autre du type description physique de l'événement (règles d'expertise utilisées). Le niveau des dommages physiques est exprimé par rapport à un pourcentage de destruction.

[48] BRGM (1998) - Approche méthodologique de la vulnérabilité aux phénomènes volcaniques. Test d'application sur les réseaux de la Martinique. Rapport BRGM R 40098.

1.11. NUCLÉAIRE

	Conséquences à l'extérieur du site	Conséquences à l'intérieur du site	Dégradation de la défense en profondeur
7 Accident majeur	Rejet majeur : effets étendus sur la santé et l'environnement		
6 Accident grave	Rejet important susceptible d'exiger l'application intégrale des contre-mesures prévues		
5 Accident	Rejet limité susceptible d'exiger l'application partielle des contre mesures prévues	Endommagement grave du cœur de réacteur / des barrières radiologiques	
4 Accident	Rejet mineur : exposition du public de l'ordre des limites prescrites	Endommagement important du cœur de réacteur / des barrières radiologiques / exposition mortelle d'un travailleur	
3 Incident grave	Très faible rejet :exposition du public représentant une fraction des limites prescrites	Contamination grave / effets aigus sur la santé d'un travailleur	Anomalie sortant du régime de fonctionnement autorisé
2 Incident		Contamination importante / surexposition d'un travailleur	Incidents assortis de défaillances importantes des dispositions de sécurité
1 Anomalie			Accident évité de peu / perte des barrières
0 Écart	Aucune importance du point de vue de la sûreté		
Événement hors échelle	Aucune importance du point de vue de la sûreté		

Tabl. 76 - (8) INES, Échelle Internationale des Événements Nucléaires.[49]

Cette échelle caractérise les dommages à l'intérieur du site et leurs conséquences à l'extérieur en termes de niveaux de mesures à prendre.

Elle a pour objectif la communication à travers les médias, sur la gravité d'un événement nucléaire, elle n'est pas utilisée pour faire de l'analyse technique.

1.12. ÉCHELLES MULTIALÉAS

Ces échelles ont pour objectif de permettre la comparaison des dommages, indépendamment de l'aléa qui les a générés.

[49] Autorité de Sûreté Nucléaire « ASN » (1994) - Échelle Internationale des Événements Nucléaires (INES). « Manuel de l'utilisateur » publié par l'AIEA.

CDV	0.02	0.10	0.40	0.75	1.00
Range	0.01-0.05	0.05-0.20	0.20-0.60	0.60-0.90	0.90-1.00
Description	**Light**	**Moderate**	**Heavy**	**Severe**	**Collapse**
Tropical cyclone	Nigligible – Missile damage to cladding or Windows	Loss of half roof sheeting	Loss of roof structure + some damage to walls	Loss of all walls	Collapse ; loss of walls, floor and some floor support piers on elevated houses
Landslide	Hairline cracks [<0.1mm] in walls or structural membres	Minor settlement of foundations	Walls out of perpendiculaire by several degrés ; floors inclined ; or heaved ; open cracks in walls	Structure grossly distorted ; partition walls and brick infill at least partly collpased ; footing lose bearing ; service pipes disrupted	Partial/ total collapse
Bushfire	Damage in yard around buildings ; garden shed, fences etc. ; débris in pool	Burning of woodworkk at window sills etc. ;complete interior repaint ;new floor coverings required			>80% of building burnt. Structural collapse
Flood	Underfloor level damage only	Water-depth over floor <0.3m or so		Walls holed by floating débris ; partial collapse ; interior inundated to 1m+	Building demolished or floats oo foundations

***Tabl. 77 - (43) Central Damage Value.*[50]**

NIVEAU	**Qualificatif**	**Dommages humains**	*Dommages matériels*
0	Incident	Aucun blessé	<0,3 M€
1	Accident	1 ou plusieurs blessés	entre 0,3 et 3 M€
2	Accident grave	1 à 9 morts	entre 3 et 30 M€
3	Accident très grave	10 à 99 morts	entre 30 et 300 M€
4	Catastrophe	100 à 999 morts	entre 300 M€ et 3 G€
5	Catastrophe majeure	1000 morts ou plus	plus de 3 G€

***Tabl. 78 - (44) Échelle de gravité des dommages (MEDD).*[51]**

MAGNITUDE	**Nombre de morts**
1	10
2	100
3	1 000
4	10 000
5	100 000
6	1 000 000

Tabl. 79 - (45) Échelle de Bradford.

[50] Blong R. (1999) - Damage Index 1999. Natural Hazards Quarterly, Volume 5, Issue 4.

[51] MEDD (2002) - Les événements naturels dommageables en France et dans le monde en 2001. Retour d'expérience. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques - Cellule Retour d'expérience.

Ces échelles ont des contenus très différents : l'échelle CDV compare des niveaux de dommages physiques au bâti dus à différents aléas, en prenant pour point de comparaison un taux d'endommagement (CDV).

L'échelle de dommages du MEDD compare des dommages globaux, évalués en vies humaines et monétairement, indépendamment de la nature des évènements.

L'échelle de Bradford, du même type que celle du MEDD, prend pour seul critère les vies humaines.

ANNEXE 3

Questionnaire

ENQUÊTE DU :
FAITE PAR :
AUPRÈS DE :
A :

SYNTHESE

Généralités

HORS ENQUÊTE
Dimension de la commune ?
Nombre d'habitants ?
Importance économique[52] ? ☐ Très important ☐ Important ☐ Peu important ☐ Très peu important
Importance politique ? ☐ Très important ☐ Important ☐ Peu important ☐ Très peu important
Situation sociale des habitants ? ☐ Aisée ☐ Moyenne ☐ Modeste ☐ Très modeste

L'ÉVÉNEMENT
Date / heure ?
Commune affectée ?
Situation géographique ?
Nature de la cavité souterraine ?
Nature de l'événement ? ☐ Affaissement ☐ Effondrement ☐ Fontis ☐ Autre
Dimensions / forme :
Étendue :
Causes, déclencheurs :
Propriétaire / exploitant :

LE CONTEXTE
La cavité était-elle déjà connue ? ☐ Oui ☐ Non
Des mouvements de terrain s'étaient-ils déjà produits ? ☐ Oui ☐ Non
Les habitants sont-ils familiers des problèmes liés aux cavités ? ☐ Oui ☐ Non
Préciser :
Comment a été perçu cet événement ? ☐ Catastrophique ☐ Grave ☐ Habituel ☐ Mineur
Précisez :

[52] Industries, agriculture, service et tourisme, etc. (nature, importance par rapport à la région ou au pays).

Description des dommages

DOMMAGES AUX PERSONNES

Nombre N		Dommages induits
Morts		
Blessés		
Déplacées de leur domicile		

Comment jugez vous ces dommages ? ☐ Très graves ☐ Graves ☐ Peu graves ☐ Très peu graves

DOMMAGES MATERIELS AUX BATIMENTS ET AUX STRUCTURES

Nature[53]	Dommages physiques	Valeur estimée	Coût réparation	Dommages fonctionnels[54]	Durée	Nb pers. concernées	Type de propriétaire

Comment jugez vous ces dommages ? ☐ Très graves ☐ Graves ☐ Peu graves ☐ Très peu graves

DOMMAGES MATERIELS AUX INFRASTRUCTURES

Infrastructure et réseaux[55]	Gestionnaire du réseau	Dommages physiques	Valeur estimée	Coût de réparation	Dommages fonctionnels

Comment jugez vous ces dommages ? ☐ Très graves ☐ Graves ☐ Peu graves ☐ Très peu graves

DOMMAGES MATERIELS AUX RESSOURCES NATURELLES

Ressources naturelles[56]	Type de dommages	Nombre de personnes concernées	Importance

[53] Habitat, Établissement scolaire /universitaire, Entreprise/usine/petit commerce, Établissement de santé, Établissement de culte, etc.
[54] Nature et durée du dysfonctionnement + nombre de personnes concernées.
[55] Transport, eau, électricité, télécommunications, déchets.
[56] Eaux de surface et souterraines, paysage, sous-sol, atmosphère etc.

DOMMAGES MATERIELS AUX SURFACES OU ACTIVITES AGRICOLES					
Type de dommage[57]	Nombre/quantités concernées	Conséquences sur la production	Nb. personnes concernées	Type de propriétaire	Evaluation financière

Autres dommages incidents, du type les magasins n'ont pas ouvert, les gens ne sont pas allés à leur travail, les enfants ont du être gardés à la maison, etc.

Gestion de l'événement

ALERTE
Comment a-t-elle été donnée ?
Par qui ?
Combien de temps avant/après l'événement ? < 15 min < 2 h < 12 h > 12 h
Comment la jugez vous ? Au bon moment Tardif Autre, précisez :

ANALYSE DU PHENOMENE
Qui l'a faite ?
Par qui l'expert a-t-il été appelé ?

MISE EN SECURITE
Quelles mesures ont été prises ?
Par qui ?

[57] *Disparition d'animaux, de parcelles cultivables etc*

CONSTITUTION D'UNE CELLULE DE CRISE

Une cellule de crise a-t-elle été constituée ? ☐ Oui ☐ Non

En combien de temps ? ☐ Jour même ☐ 24 h après ☐ 48 h après ☐ Autre, précisez :

Pour quelle durée ? ☐ < 3 j ☐ < 10 j ☐ > 10 j

Comment la jugez-vous ? ☐ Très satisfaisant ☐ Satisfaisant ☐ Peu satisfaisant ☐ Pas du tout satisfaisant

Qui ont été les acteurs ?

Qui en a été le chef ?

Qui a nommé les acteurs ?

Quel jugement sur leur travail ? ☐ Très satisfaisant ☐ Satisfaisant ☐ Peu satisfaisant ☐ Pas du tout satisfaisant

INFORMATION

Est ce qu'il y a eu des problèmes liés à la diffusion de l'information :

Aux autorités ?	Très graves	Graves	Peu graves	Pas du tout graves
Aux acteurs de la cellule ?	Très graves	Graves	Peu graves	Pas du tout graves
Aux victimes ?	Très graves	Graves	Peu graves	Pas du tout graves

Comment, parmi les responsables de la gestion de la crise, l'information circulait-elle ?

Quels ont été les problèmes d'information externe[58] ?

EVACUATION

Quel a été le délai entre l'alerte et l'évacuation ? < 6 h < 24 h > 48 h Autre, préciser :

Quels ont été les problèmes[59] et les solutions ?

Comment les jugez-vous ? Très graves Graves Peu graves Pas du tout graves

Pendant combien de temps les personnes évacuées l'ont-elles été ? < 4 j < 10 j ≥ 10 j

PROCEDURES PARTICULIERES D'ORGANISATION DES SECOURS

Quelles ont-elles été ?

Qui les a décidées ?

Qui les a mises en œuvre ?

Qui les a payées ?

Pour quelle durée ?

[58] Vis-à-vis du public, les médias se sont-ils chargés de cette info ? Comment ? Avec quelles conséquences ?

[59] Chez qui, pour combien de temps ?

REPARATIONS

Nature des travaux réalisés	Coût	Montants estimés des dommages	Réalisateur	Délais après l'événement

Prise en compte du risque

POLITIQUE D'INFORMATION AVANT L'EVENEMENT

L'information circulait-elle? ☐ Oui ☐ Non

Quelles actions particulières ? ☐ Affiche ☐ Lettre à domicile ☐ Porte-à-porte ☐ Autre, préciser : bulletin avec articles réguliers + nouveau POS (PLU).

Depuis combien de temps ? ☐ < 1 an ☐ > 1 an ☐ > 5 ans ☐ > 10 ans

L'information circulait ? ☐ ≤ 2 fois par an ☐ 3 ou 4 fois par an ☐ Autre

Quels documents[60] ?

A qui s'est adressée l'info ? ☐ Les élus locaux ☐ Tous les habitants ☐ Les habitants exposés ☐ Les habitants déjà sinistrés

Qui les a décidées ?

Qui les met en œuvre ?

Qui les a financées ? ☐ La commune ☐ L'État ☐ Les associations d'habitants ☐ Autre, préciser :

Jugez-vous l'information diffusée efficace comme moyen de prévention ? ☐ Oui ☐ Non

POLITIQUE D'INFORMATION APRES L'EVENEMENT

L'information circulait-elle ? ☐ Oui ☐ Non | ☐ ≤ 2 fois par an ☐ 3 ou 4 fois par an ☐ Autre :

L'information sur l'événement et ses conséquences a été communiquée?
☐ > 1 heure ☐ > 1 jour ☐ > 1 semaine ☐ > 1 mois ☐ Autre, préciser :

Sous quelle forme ? ☐ Affiche ☐ Lettre à domicile ☐ Porte-à-porte ☐ Autre, préciser :

Circule-t-elle toujours ? ☐ Oui ☐ Non

Sinon pendant combien de temps a-t-elle été diffusée ? ☐ < 1 an ☐ < 3 ans ☐ < 5 ans ☐ Autre, préciser :

Quels documents ont été diffusés ?

A qui s'est adressée l'info ? ☐ Les élus locaux ☐ Tous les habitants ☐ Les habitants exposés ☐ Les habitants sinistrés

Qui en a décidé ?

Qui a délivré l'information ?

Qui l'a financée ? ☐ La commune ☐ L'État ☐ Les associations d'habitants ☐ Autre

Comment la jugez vous ? ☐ Très crédible ☐ Crédible ☐ Peu crédible ☐ Pas du tout crédible

[60] Cartes d'aléa et de risque avec ou sans vocation réglementaire, plaquette etc.

REGLEMENTATION

Avant l'événement ? ☐ Oui ☐ Non

Après l'événement ? ☐ Oui ☐ Non

Règles de construction spécifiques ?

Réalisation d'un PPR ?

Dans quels objectifs ?

SURVEILLANCE

Qui l'a décidée ?

Qui l'a mise en œuvre ?

Qui l'a payée?

Pour quelle durée ?

GESTION DE LA CRISE

A-t-on cherché ? ☐ Un coupable ☐ Un responsable

Qui était cette personne et quelle était sa position ?

Quelle était sa responsabilité ?

Cette personne a-t-elle été poursuivie juridiquement ? ☐ Oui ☐ Non

Préciser :

Y a-t-il eu des problèmes suite à cette situation ? ☐ Oui ☐ Non

Si oui, lesquels ?

Comment les jugez-vous ? ☐ Très graves ☐ Graves ☐ Peu graves ☐ Pas du tout graves

Incidences sur la vie et l'économie de la zone ou des acteurs

DEVELOPPEMENT

Comment jugez vous le poids des contraintes imposées à la construction ou aux infrastructures et réseaux sur :

- L'évolution sociale ? ☐ Très important ☐ Important ☐ Faible ☐ Mineur
- La valeur et la qualité du patrimoine ? ☐ Très important ☐ Important ☐ Faible ☐ Mineur
- Le développement économique ? ☐ Très important ☐ Important ☐ Faible ☐ Mineur
- La valeur culturelle ? ☐ Très important ☐ Important ☐ Faible ☐ Mineur

Ces conséquences sont-elles déjà visibles ? ☐ Oui ☐ Non

Comment peuvent-elles évoluer ?

Qui est l'acteur concerné ? ☐ La commune ☐ L'entreprise ☐ Le particulier ☐ Autre, préciser :

COHESION SOCIALE

Y a-t-il eu la constitution d'une association de défense des sinistrés ? ☐ Oui ☐ Non

A-t-on constaté des difficultés liées :

- Aux dommages ? ☐ Oui ☐ Non
- A leur indemnisation ? ☐ Oui ☐ Non
- Au mode de reconstruction ? ☐ Oui ☐ Non

Justifier votre choix :

Quels ont été les groupes sociaux concernés ?

Comment ont-ils été pris en charge ?

PERCEPTION

Comment percevez-vous finalement au niveau de la commune :

- L'événement ? ☐ Catastrophique ☐ Grave ☐ Habituel ☐ Mineur
- Le risque induit ? ☐ Très fort ☐ Fort ☐ Moyen ☐ Faible

Justifier votre choix :

PERTES

Comment peut-on constater et évaluer des pertes pour :

La commune ?	☐ Baisse des recettes	Chômage	☐ Perte de production	☐ Perte de revenu	Non-développement	
Les particuliers ?	☐ Baisse des recettes	Chômage	☐ Perte de production	☐ Perte de revenu	Non-développement	
Les industriels ?	☐ Baisse des recettes	Chômage	☐ Perte de production	☐ Perte de revenu	Non-développement	
Les gestionnaires de réseaux ?	☐ Baisse des recettes	Chômage	☐ Perte de production	☐ Perte de revenu	Non-développement	
Autre ?	☐ Baisse des recettes	Chômage	☐ Perte de production	☐ Perte de revenu	Non-développement	

Justifier votre choix :

INDEMNISATION

Quels types de problèmes ont été induits par l'indemnisation (partielle, lente, contraignante) ?

Comment les jugez-vous ? ☐ Très graves ☐ Graves ☐ Peu graves ☐ Pas du tout graves

GESTION DU RISQUE

Y a-t-il une prise en charge du risque « affaissement » au niveau : ☐ Politique ☐ Économique ☐ Social ☐ Fonctionnel

Quelles seraient vos suggestions ou vos remarques dans ces différents domaines ?

Incidences dans le domaine social

DEMOGRAPHIE

Évolution démographique de la commune 2 mois après l'événement :

o Nombre d'habitants ?	☐ A augmenté	☐ A diminué	☐ Inchangé	Préciser :
o Taux de chômage ?	☐ A augmenté	☐ A diminué	☐ Inchangé	Préciser :

Évolution démographique de la commune 3 ans après l'événement :

o Nombre d'habitants ?	☐ A augmenté	☐ A diminué	☐ Inchangé	Préciser :
o Taux de chômage ?	☐ A augmenté	☐ A diminué	☐ Inchangé	Préciser :

EDUCATION

Évolution du nombre d'élèves scolarisés ? ☐ A augmenté ☐ A diminué ☐ Inchangé | Préciser :

Si diminution, pourquoi :

- o Les établissements ont fermé ? ☐ Oui ☐ Non
- o Ils n'ont plus eu accès à l'école ? ☐ Oui ☐ Non
- o Les parents ont volontairement scolarisé leurs enfants dans d'autres communes ? ☐ Oui ☐ Non

COMMUNICATION ET PERCEPTION DU RISQUE (liés aux cavités souterraines)

Pensez-vous que les gens soient suffisamment informés ? ☐ Oui ☐ Non

Par quels moyens ? ☐ La presse ☐ TV/Radio ☐ La commune ☐ Les associations d'habitants ☐ Autre

Pensez-vous que les gens aient confiance dans ces informations ? ☐ Oui ☐ Non

Selon vous, de quoi résulte cette situation ?

A votre avis, comment va-t-elle évoluer ?

Existe-t-il une association de défense des habitants ? ☐ Oui ☐ Non

Si oui laquelle ?

Combien regroupe-t-elle de membres ?

Quel est son rôle ?

Comment accède-t-elle à l'information ?

Quelles sont ses propositions d'action ?
Comment les jugez-vous ? ☐ Très efficaces ☐ efficaces ☐ Peu efficaces ☐ Pas du tout efficaces
Etes-vous d'accord sur les informations diffusées par la presse ? ☐ Tout à fait ☐ Assez ☐ Peu ☐ Pas du tout
Selon vous, par quels moyens les gens peuvent-ils accéder à l'information ?

IMPACTS PSYCHOLOGIQUES

Selon vous, les gens apparaissent-ils touchés par cette situation ? ☐ Oui ☐ Non
Selon vous, la situation a-t-elle engendré….. ☐ Des problèmes de santé ☐ Un sentiment d'insécurité ☐ Autre :
Si oui, lesquels ?
Pour combien de temps ? ☐ < 1 mois ☐ < 6 mois ☐ < 1 an ☐ > 1 an
Dans cette situation, les gens sont-ils ? ☐ Interpelés ☐ Angoissés ☐ Déprimés ☐ Traumatisés ☐ Autre
Pensez-vous que la situation a provoqué des tensions entre les personnes ? ☐ Oui ☐ Non
Justifier votre choix ?
Avez-vous le sentiment que les événements ont resserré les liens entre les personnes ? ☐ Oui ☐ Non
Pourquoi ?
Quelles sont les principales craintes des personnes ?

Centre scientifique et technique
Service aménagement et risques naturels
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34